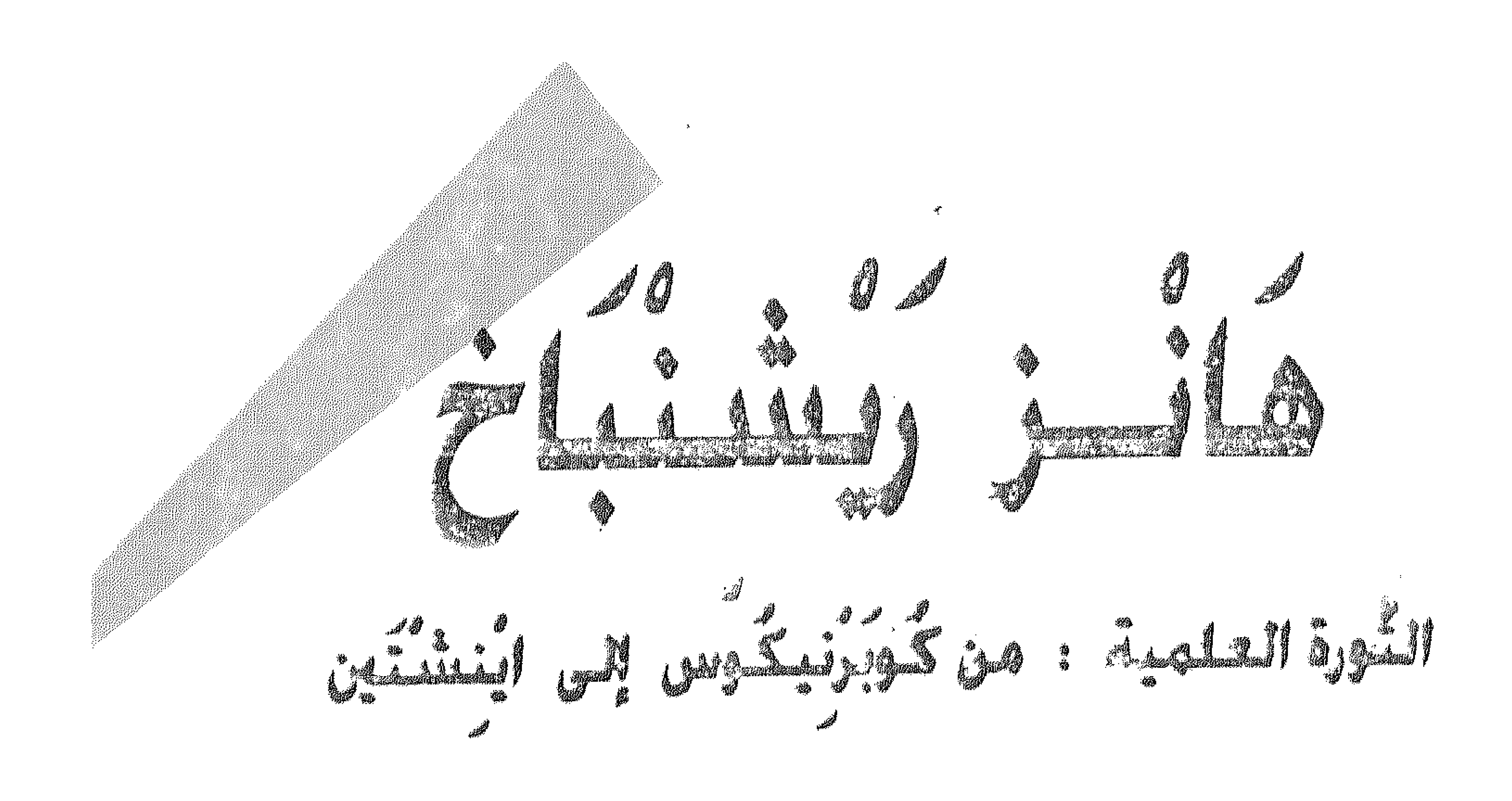


هانز ريشنباخ

الثورة العلمية : من كوبرنيكوس إلى اينشتين

ترجمة

دكتور ماهر عبد القادر محمد

تصدير

دكتور محمد ثابت الفندى

١٩٩٨

دار المعرفة الجامعية



هانز ريشنباخ

الثورة العلمية : من كوبرنيكوس إلى اينشتين

ترجمة

دكتور ماهر عبد القادر محمد

تصدير

دكتور محمد ثابت الفندى

١٩٩٨

دار المعرفة الجامعية

٤٠ ش سوتير - الأزاريطة - ت ٤٨٣٠١٦٣

٣٨٧ ش قنال السويس - الشاطبي - ت ٥٩٧٣١٤٦

تصدير

هذه ترجمة إلى العربية أقام بها مشكوراً الأستاذ الدكتور ماهر عبد القادر لكتاب طيب مختصر من مؤلفات ريشنباخ أحد مؤسسى الوضعية فى عصر ازدهارها فى فيينا فى الثلاثينيات من هذا القرن ، وأنه لإثراءً للمكتبة العربية فى تاريخ الطبيعيات وفلسفتها .

عنونه مؤلفه بعنوان « من كوبرنيكوس إلى اينشتين » . وأضاف المترجم فكرته الأساسية بإضافة « الثورة العلمية » إلى العنوان الأصلى ، فعبر بذلك عن التصورات المتلاحقة فى أهم علوم الانسان التى حفزت العقل إلى تحقيق كل طموحاته فى الكشف عن أصغر العوالم (الذرة) وعن أكبرها (الكون) ، وأمدته بالتكنولوجيا فى تطبيقاته الصناعية البالغة التنوع والعجب والفائدة للانسان وحضارته فوق هذه الأرض التى أنشأته،وهى طبيعة عارية من كل عون له ، فعمرها بعقله وعلمه وصناعته .

تصادف كلماتى هذه ثورة على العروبة وكل القيم بسبب غزوة دولة عربية دولة أخرى عربية بالمدافع والطائرات ، وكأن الشر بذلك امتداد للصناعة (آلات الدمار) ولاختلال موازين العقل وأخلاقه ، يحدث ذلك فى وقت تهيأ فيه البشر للسلام والأمن والتحضر ، لذلك أوثر أن أنحى كلمة « الثورة » — وإنى لأستسمح فى ذلك الأستاذ المترجم — من عنوان كتاب فى الفلسفة عن تاريخ « العلم » وهو أعظم عطاء إلهى ، اكتفاء « بمراحل » الطبيعيات من كوبرنيكوس إلى اينشتين (وهى الكلمة التى اختارها استاذى برنشفيج عندما كتب عن الرياضيات) لأشير بها إلى مراحل التطور البطىء أحياناً ، والسريع أحياناً أخرى ، وإلى النمو المتصل الحلقات فى علم الطبيعة ، بعيداً عن أجواء الإثارة والثورة .

هذا وأنى لأشعر بأن كتاب ريشنباخ هذا الذى أقدم إليه بهذه المقدمة نزولاً عند رغبة الأستاذ المترجم هو أقرب إلى تاريخ العلم منه إلى فلسفة العلوم الطبيعية . ولا شك أن هناك تداخلاً كبيراً بين الموضوعين ، فإن فلسفة العلم



تتضمن بالضرورة الإشارة إلى تاريخ العلم ليمارس الباحث منهجه فى تحليل مسار الفكر العلمى ومراحله ، بل إن التاريخ هو فى متنة منهج تحليل لكل مرحلة علمية . والباحث إذ يحلل مسار الفكر العلمى يحلل فى الوقت نفسه منهجه الرياضى ، وظهور النظريات الجديدة فيه ، وأنواع الحساب المستجدة التى تبرهن الجديد من اكتشافات الطبيعة ، لنتذكر مثلاً أنه لو لم يكتشف نيوتن حساب اللامتناهى الصغر لما استطاع أن يبرهن قانون الجاذبية الكونية .

لكن تستقل فلسفة العلم بغلبة طابع المسائل الفلسفية التى من نوع : قيمة الحقائق العلمية بين سلسلة الحقائق الأخرى ، والقوانين العلمية فى ضوء فكرة العلية المعقدة والأصيلة فى العقل ، والحرية والصدفة والحتمية ، واسهام العلم فى اتساع العقلانية وأثره فى الحضارة والتكنولوجيا وتنظيم المجتمع ، وحتى قيمة العلم الخلقية ، أو ما سماه البيربابيه « أخلاق العلم » الخ ...

وطبعاً إذا خلا المؤلف من مثل هذه المقولات الفلسفية ، وغلب عليه طابع التسلسل التاريخى ، كما نرى فعلاً من قراءة ريشنباخ ، فإن تاريخ العلم يكون هو المقصود الأول .

لذلك سأجعل مقدمتى ليست للكتاب ، وإنما فقط للاجابة على شرح الكتاب ، كما سأجعلها أقرب إلى منهج ريشنباخ التاريخى فى تناول المسائل مع فارق أساسى هو أنى لن أعنى ببيان كم هو كبير ذلك الفارق فى الفكر العلمى الذى مر بمستويات متعاقبة نحو النسبية من كوبرنيكوس إلى اينشتين ، وإنما أعنى فقط بالمراحل المتتابعة لتطور نظريات من العلم فى نطاق علم الطبيعة من كوبرنيكوس إلى اليوم لأعين القارىء على استيعاب مناقشات وتحليلات ريشنباخ المستفيضة الواسعة .

* * *

لقد بدأت الطبيعيات الحديثة فى القرن السادس عشر من نفس فكرة الحركة التى ظهرت منذ فلسفات بارمنيدس وهرقليط وزينون وعند أرسطو . لقد أثبت كوبرنيكوس فى القرن السادس عشر أن الأرض « تدور » وأنها ليست مركز الكون كما علم بطلميوس قديماً .

وكان كبلر أول من تتبع حركة المريخ والكواكب الأخرى ، واستعمل التحليل الرياضي في تسجيل خطوات حركته وانتهى إلى أنه مسار بيضاوى . وكان هذا أول قانون في العلم الحديث بالنسبة للشكل البيضاوى لكل الكواكب . أما تلميذه جاليليو فهو المؤسس لعلم الميكانيكا الحديث . بدأ من المشاهده المألوفة لمصباح معلق في سقف الكنيسة وهو يتأرجح كبندول الساعة ، فتساءل : لو صح أرسطو في قانونه في الحركة بأن الأجسام الثقيلة أسرع من الأجسام الخفيفة لاختلفت سرعة هذا المصباح عن غيره مما هو أثقل أو أخف منه ، فذهب إلى برج بيزا المائل ، وأسقط من أعلاه أجساماً مختلفة الثقل فوصلت جميعاً إلى سطح الأرض ، فأثبت لأول مرة قانوناً من أهم قوانين العلم الحديث هو استقلال سرعة الأجسام عن ثقلها . ثم حلل جاليليو سرعة سقوط الأجسام عندما ميز فيها « البعد » (المكان) الذى يقطعه الجسم ، و « الزمان » الذى يستغرقه وهما من الجوانب الكمية لا الكيفية للأجسام ، وقدرهما في تجربة مشهوره ، فوجد أن سرعة الجسم تتزايد في الزمان بمعدل مربعات المكان . وهذا كله مما أفاد منه اسحق نيوتن .

في سنة ١٦٨٦ صدر كتاب نيوتن « المبادىء الرياضية لفلسفة الطبيعة » وفيه رد النسق الكونى كله إلى وحدة فكرية هى وحدة قانون الجاذبية الكونية التى فسرت قوانين كبلر في حركة الأجرام السماوية البيضاوية ، وقوانين جاليليو في حركة الأجسام ، والمد والجزر ، والاضطربات في سير الكواكب ، واستواء الأرض عند القطبين ، وحسب كذلك كتلة الأرض والقمر والشمس . وبالجملة لم يوجد كتاب مثله احتوى على هذا القدر الكبير من الحقائق العلمية . وهذا لاجرانج الرياضى عبر في أوائل القرن الماضى ، يغبط نيوتن على انفراده بكل هذا النجاح بقوله : « نيوتن سعيد كل السعادة بأن يكون له نسق علمى لفهم أجرام السماء . وللأسف لا يوجد غير سماء واحدة » .

نحصر كلامنا عن نيوتن في أربع نقاط هى : تصور للمكان والزمان ، وحساب اللامتناهى الصغر ، والجاذبية الكونية ، ونظرية الضوء .

لقد تخيل نيوتن الكون كله داخل أطارين كبيرين هما المكان والزمان ، ووصفهما بأنهما لا يتهيان ، وبأن أجزاء كل واحد منهما متشابهة فيما بينها حتى أن قانون الجاذبية أو غيره لا يختلف من مكان إلى آخر ، أو من زمان إلى زمان . كذلك هما حاستان لمعرفة الأشياء عند الله سبحانه وتعالى .

هذا الجانب الفلسفي من نيوتن لم يتنبه إليه مواطناه الفيلسوفان التجريبيان « لوك » و « هيوم » ، اللذان غفلا عن كل شيء علمي عند نيوتن إلا القول بالتجربة الحسية كأساس للمعرفة .

لقد ساد « نيوتن » بلا منازع طوال القرن الثامن عشر ، وكان كانط هو الذي عبر فى فلسفته الترنسندنتالية بقوة عن التصور الميتافيزيقي لعالم نيوتن ، حين نقل المكان والزمان من الخارج إلى باطن حس الانسان ، وجعلهما صورتين نتلقي فيهما إحساساتنا ، وجعل الرياضيات كما عند أفلاطون فى منطقة الحواس ودون العقل ، فالهندسة أساسها المكان ، أما الحساب والميكانيكا ، وأيضاً علم النفس ، أساسهما الزمان . وهذه هى المعرفة العلمية المستمدة من التجربة والتى تكتسب اليقين من قبلية المكان والزمان . أما الميتافيزيقا التى تقلص مدها فى القرن الثامن عشر بسبب نجاح نيوتن فى إقامة علم يقينى كالطبيعة فقط انتقلت عند كانط إلى قوة العقل ، قوة الجدل العقيم المتناقض المضلل فتأكد بطلانها بناء على الاقتصار على العقل وحده دون الحس . بهذا أيد كانط يقين العلم (نيوتن) ، وبطلان الميتافيزيقا باعتبارها جدلاً فارغاً على عكس ما رأه أفلاطون فى جدله من الوصول إلى حقائق أزلية وفوق الرياضيات . ولقد شاهدت فكرتا المكان والزمان منذ نيوتن إلى اليوم نقاشاً واسعاً فى الفلسفة والرياضة ، وأخيراً فى الطبيعة عند اينشتين كما سنرى .

وننتقل الآن إلى حساب اللامتناهى الصغر . فقد لاحظ نيوتن طبعاً أن هندسة ديكارت التحليلية تنطبق على الأجسام الساكنة وحدها . وعندما فكر فى حركة الكواكب وسقوط الأجسام وجب عليه أن يخترع رياضة مناسبة للحركة تكون ميكرسكوباً جبرياً يسمح بأن نحلل سرعة الجسم ، كالفارس مثلاً فى كل لحظة فى طريقه ، بمعنى آخر يجب تحليل سيره ، سواء أسرع أم أبطأ ، إلى أجزاء صغيرة جداً ، فنتخذه ونقدر بذلك سرعته بالأعداد ،

وبالعكس إذا علمنا سرعته نستطيع أن نحدد فى أى نقطة هو فى سيره . هذا هو دور حساب اللامتناهى الصغر (التكامل والتفاضل) الذى جدد الرياضة وسلحها بحساب لاغنى عنه فى تحليل الحركة فى الفلك والطبيعة ، والذى اكتشفه عندئذ أيضاً معاصره الفيلسوف والرياضى « ليبنتز » .

أما الجاذبية الكونية فهى أكبر اكتشافات نيوتن التى اخترق بها أسرار أجرام السماء ، وأقام علم الميكانيكا نهائياً ، وبهر عقول العلماء ، لأنها ردت إلى وحدة فكرية واحدة قوانين كبلر عن الحركة البيضاوية للأجرام السماوية ، وقوانين جاليليو عن سقوط الأجسام وأشياء أخرى علمها نيوتن لبنى البشر .

لقد كان نيوتن أول من ميَّز فى طبيعياته بين « الكتلة » والوزن أو الثقل . والكتلة هى كم المادة الذى لا يتغير فى أى شىء ، والوزن « قوة » تتغير حسب الأماكن أى حيث يوجد الفرد فوق الأرض . وهو أيضاً أول من عمم فكرة القوة فى الكون ، وربط بينها وبين السرعة وتزايدها ، وجعل الجاذبية الكونية أساس القوة ومنبعها . واستند نيوتن فى قوله بالجاذبية لا على الرأى الميتافيزيقى ، أو الفرض المتخيل ؛ وإنما على الحساب . فعندما بلغه أن عالماً فرنسياً معاصراً له قاس الكرة الأرضية ، وعلم منه مقدار نصف قطرها بدقة (٣٢٦٩٠٠٠ قامة) ، فكر نيوتن فى أنه إذا كانت الأرض تجذب التفاحة من فوق شجرتها بعكس مربع المسافة (جاليليو) ، وإذا كان بعد التفاحة من مركز الأرض هو نصف قطر هذه الأخيرة ، فإننا بذلك نعرف سرعتها . وعلى هذا الأساس حسب سرعة القمر وكتلته ، وأثره فى المد والجزر ، وكذلك كتلة الشمس والأرض ، الخ — وبذلك كله وبغيره أيضاً يكون نيوتن قد برهن رياضياً على صدق قانونه فى الجاذبية الكونية القائل بأن كل الأجسام والأجرام السماوية تتجاذب فيما بينها بنسبة طردية مع كتلتها وبنسبة عكسية مع مربع المسافات بينها . قانون واحد يصف أسرار مدركات الكون كله .

ولكنه بعد ثبات يتعرض اليوم إلى نقد جزئى عند اينشتين . (الجاذبية ليست قوة أو طاقة عنده) كما تتعرض أفكار أخرى مثل المكان والزمان . مما سنراه فى حينه .

وننتقل أخيراً إلى تحليل نيوتن للضوء ، وقد لفت الضوء أنظار المفكرين من أقدم العصور من أمثال اقليدس وارشميدس وابن الهيثم وديكارت وهويجنز . ومن خصائص نظريات الضوء أنها لا تستقر وأنها ترتبط بظهور وقائع غير منتظرة .

ذهب هويجنز (وهو معاصر لنيوتن) فى تحليله للضوء إلى أنه موجات فى مادة رقيقة هى الأثير — ولكن بعض الصعوبات فى نظرية هويجنز جعلت نيوتن يذهب إلى أن الضوء هو انطلاق جزئيات رقيقة من المصدر الضوئى بسرعة فوق ٣٠٠٠٠٠ ك . م فى الثانية . وفسر بهذه النظرية بسهولة خصائص هامة للضوء مثل انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة وانعكاسه على المرايا وانكساره فى الماء مثلاً .

لكن فى أوائل القرن ١٩ ظهرت خواص جديدة للضوء تطلبت تفسيراً لأنها استعصت على نظرية انطلاق جسيمات ضوئية مثل الظاهرة التى سميت ظاهرة انحراف الضوء difusion . هذه الظاهرة هى أنه أحياناً لا ينتشر الضوء فى خطوط مستقيمة ، وإنما يحيد عنها وينحرف ، وهذه الخاصية جزء من ظاهرة أوسع تسمى تداخل الضوء . مثلاً إذا مررنا شعاعاً من خلال ثقب صغير فى وسط البطاقة التى تحمل اسم صاحبها ، واستقبلناه على شاشة فسنرى ظلاماً فى وسط الضوء فى الشاشة . وهذه هى التجربة التى أجراها فرينل أمام علماء الأكاديمية العلمية ليثبت الظاهرة وتفسيرها بالانحراف أو التداخل . وهنا استدرك بواسون الرياضى وعضو الأكاديمية ، وقد لمح نتيجة غير متوقعة عند فرينل ، قال : وما يدريك إنك لن ترى على الشاشة ضوءاً فى وسط ظل شىء ما ؟ فأجابه فرينل فوراً بأن استقبل على الشاشة ظل قرص معتم سلط عليه الضوء ، فوجد فعلاً أن الظل فوق الشاشة تتوسطه بقعة مضيئة . ذهب بواسون الذى كان يرى أن طيب الحياة هو فى التفكير الرياضى وحده وفى تدريس الرياضة ، هب فى وجه الباحث قائلاً أن معادلاتى لا تنطبق على نظريتك . فأجابه فرينل عليك بتغيير معادلاتك .

إن النظرية التي يفسر بها فرينل هذه الظواهر وغيرها مثل استقطاب الضوء هى النظرية الموجية (التى كان قد ذهب إليها هويجنز قبل نظرية انطلاق

الجسيمات النيوتونية) والتى تقول : كما أن الحجر إذا ألقى فى الماء تكونت موجات بعضها من بعض ، وكما أن الصوت اهتزازات ، كاهتزازات الوتر الموسيقى تنتقل كموجات يحملها الهواء ، فإن الضوء أيضاً اهتزازات تتردد بسرعة تكوّن موجات يحملها الأثير . ومنشور نيوتن الذى حلل الطيف إلى ألوان سبعة إنما يرجع اختلافها إلى اختلاف سرعات موجات كل لون من ألوان الطيف ، فالأحمر أسرعها ، والبنفسجى أبطأها ، وبينهما تتدرج الألوان الأخرى .

ولم تترك النظرية النيوتونية فى الضوء مكانها للنظرية الموجية ، إلا بشق الأنفس فى القرن ١٩ بعد اتساع الأبحاث فى المغناطيسية والكهرباء والحراريات ، وعالم الذرة والالكترونيات ، وكل العلوم الأخرى وعلى رأسها الرياضيات ، التى تناولنا تطوراتها المتتابعة فى كتابنا « فلسفة الرياضة » .

ولا نتوقف عند انجازات هذه الفترة اكتفاءً بالقول بأن العلامة ماكسويل فيما يختص بالضوء ، وحد بين موجات الضوء والكهرباء والمغناطيسية ، وكلها يحملها الأثير . كذلك وصف العلامة « رذرفورد » لأول مرة فى أوائل القرن العشرين الذرة ، وشبهها بعالم الشمس وكواكبها ، وجعل لها أجزاء هى الأيون الموجب الكهرباء ، وهو فى وسطها كالشمس ، والالكترون السالب الكهرباء يدور كالكواكب حول المركز ، وقد تتعدد الالكترونات حسب نوع الذرة . هذا التصور المبدئى للذرة تطور كثيراً اليوم ، وأصبحت الذرة أكثر تعقيداً فى بنيتها . وإنى أطور كل هذه الانجازات الهامة التى سأذكر طرفاً منها فى الخاتمة ، لأتوقف عند اينشتين الذى اختتم به ريشنباخ كتابه هذا .

لقد كان التساؤل عند علماء الطبيعة فى أواخر القرن الماضى سؤالاً بسيطاً كالآتى : نحن نعلم أن الصوت يكون أكثر سرعة عندما ينتشر فى إتجاه الريح ، وأقل سرعة فى عكس اتجاهه . فهل الأمر كذلك بالنسبة للضوء مع وضع الأثير موضع الهواء ؟

دخل اينشتين مسرح هذه الأبحاث فى ١٩٠٥ ، وبدأ أول خطوة جريئة بحذف الأثير من عالم العلم . فقد دخل الأثير من وراء باب العلم ليكون وسطاً

عادياً يحمل موجات الضوء ، كما يحمل الهواء الموجات الصوتية ، والماء الموجات الناجمة عن سقوط جسم فى الماء . فالأثير لم يره أحد ، كما أنه عقد المسائل ، ويجب استبعاده . ثم يقول اينشتين أن التجربة ترينا أن سرعة الضوء واحدة بعينها فى كل الاتجاهات . فلنبدأ من هذه الواقعة كمسلمة فنضع مبدأ هو أنه ، عند مشاهد متحرك بحركة مستقيمة ومنتظمة تكون سرعة الضوء ثابتة فى كل الاتجاهات . ولنتخيل مشاهدين ، أحدهما متحرك فى قطار ، والآخر ثابت على الرصيف ، وجاء قطار آخر فى الاتجاه العكسى ، فإن المشاهد المتحرك يرى القطار العكسى وقد انكمش طولاً ، ويقطعه فى زمن أقل ؛ بينما المشاهد الأرضى يرى القطار العكسى طويلاً ، ويقطعه فى زمن أطول ، ذلك لأنه لا يوجد زمن مطلق ولا مكان مطلق : فكل مشاهد يحمل معه مكانه وزمانه الخاصين به . (هنا نقد لنيوتن وكانط عن مكان وزمان مطلقين) .

من جهة أخرى سرعة الضوء عند علماء الطبيعة هى السرعة القصوى التى لا يصل إليها أى متحرك ، ذلك لأن هناك ما يمنع أى متحرك من زيادة سرعته زيادة لا تنتهى ، وذلك المانع هو بكل بساطة « الكتلة » ، فكلما ثقل وزن شىء ازدادت صعوبة تحريكه ، ونظرية اينشتين فى ذلك هى أن كتلة جسم ما ليست ثابتة (أى على عكس ما قال نيوتن فى تعريف الكتلة) ، وإنما تزداد مع السرعة حتى تصبح لا متنهية ، إذا تساوت سرعته مع سرعة الضوء ، وبراهين اينشتين على ذلك كثيرة كسرعة الالكترونات وأشعة الراديوم « بيتا » ، والأشعة الكونية مثلاً ، حيث تبين أن كتلة هذه العناصر عندما تستعمل كقنابل لتفتيت ذرة مثلاً ، تتوقف على سرعتها تماماً حسب رأى اينشتين .

هذا الرأى تضمن نتيجة غريبة حقاً ، وهى أن الكتلة تولد طاقة ، وأن هذه الطاقة بدورها لها كتلة . وهذا يعنى أنه يجب أن يكون للحرارة والضوء والأشعة X وزن ما ، ومن ثم أيضاً أن الطاقة والكتلة شىء واحد . فعندما يفقد شىء ما من طاقته ، فإنه يفقد كذلك من كتلته . مثلا قدرُ يملؤه ماء ساخن هو أثقل من آخر مثله يملؤه ماء بارد ، وذلك يرجع إلى زيادة ثقل الطاقة الحرارية الكامنة فى الماء الساخن . هذا ثم أنه بسبب وحدة هوية الطاقة والكتلة ، يجب

أن نتوقع أن أى قطعة من المادة تنطوى على كمٍّ من الطاقة . ونظرية اينشتين تعلمنا كيف نحسبها ، وكيف أن ما ينطوى عليه جرام واحد من المادة من الطاقة يكفى لدفع ما وزنه ٣٠ مليوناً من الأطنان فوق قمة برج إيفل !! لقد فصل العلماء من قبل بين مبدأ بقاء المادة ، ومبدأ بقاء القوة (مساوى كارنو) ، وها هم الآن يتنفسون الصعداء ارتياحاً من اتحادهما فى مبدأ واحد يكشف عن ذاته مرة كطاقة ، ومرة كمادة . وهكذا برهن اينشتين وحدة العالم المادى لأول مرة .

وفى عام ١٩١٥ أضاف اينشتين أن نظريته قاصرة على حركة مستقيمة ومنتظمة ، وتساءل لماذا الاقتصار على هذا النوع من الحركة ؟ ولماذا تميز هذا المتحرك عن متحرك آخر يتحرك بحركة متزايدة فى سرعتها وكذلك فى حالة دوران أيضاً . أنه لا امتيازات فى الطبيعة ، ويجب أن تكون قوانين الطبيعة واحدة .

عند النظرة الأولى يبدو هذا التوحيد سهلاً إلى حد أنه يمكن القول بالاجمال أن هذين المتحركين يُردان إلى وحدة المعادلة ($F = m\gamma$) التى تقول أنه بقوة متعادلة تكون سرعة المتحرك أصغر ، كلما كانت كتلة ذلك المتحرك أعظم : فأنت إذا استعملت نفس ضربة القدم لكرة مطاطية ، أو لكرة من القصدير ، فإن سرعة كرة القصدير تكون أقل من سرعة الكرة المطاطية . لكن اينشتين استوقف انتباهه استثناء واضح لهذه القاعدة هو قوة الجاذبية نحو الأرض ، وفى الواقع فى الفراغ تسقط الأجسام كلها مهما اختلفت أثقالها بسرعة متساوية ، ولكن ما هو شاذ هو أنه بنفس ضربة القدم تتحرك كرة القصدير بنفس سرعة كرة المطاط عند السقوط . هذا هو ما هو غريب عنده ، أى لماذا قوة الانجذاب ، أو التثاقل نحو الأرض ، مستثناه من القانون الذى يحكم كل القوى الأخرى فى الطبيعة . وهنا يقول اينشتين ربما هى ليست قوة كالقوى الأخرى ، وأنها خاصية للمكان الذى تشغله المادة ، لا للمادة ذاتها كما عند نيوتن . وهنا يرسم لنا اينشتين صوره لمكان بدلاً من أن تجىء فيه الجاذبية الكونية من الشمس ، تجىء من انحناء غريب فى ذلك المكان : لنتخيل صحيفة كبيرة مسطحة من المطاط ومشدودة أفقياً تماماً . لنلق فوقها كرة صغيرة (بليه

صفيرة) فإنها تنطلق فى خط مستقيم ، وإذا لم يكن هناك احتكاك أو مقاومة من هواء ، وإذا كانت الصحيفة لا تنتهى ، فإنها تجرى بلا نهاية فى حركة مستقيمة ومنتظمة . لنضع الآن كتلة ثقيلة وسط الصحيفة ، فإن الصحيفة تكوّن تحت ذلك الثقل منخفضاً أو تجويفاً كإناء أو حلة ، وبدلاً من أن تسير الكرة فى خط مستقيم فإنها تقع فى ذلك الإناء وتظل تدور على سطح جداره الداخلى . إن الظاهرة التى يريد اينشتين أن يصفها هى اشبه بتلك الصورة الخيالية التى رسمها مع فارق هو أنه بدلاً من صحيفة المطاط وهى مكان وذو بعدين ، يقصد اينشتين مكاننا ذا الأبعاد الثلاثة ، وأن الأجرام السماوية تدور كالبلية حول كتلة الشمس ، وهى الكتلة الثقيلة التى أحدثت التجويف . وهكذا عندما لا توجد مادة فى المكان ، فإن هذا يحتفظ بخصائصه الأصلية ويظل اقليدياً ، ولكن حيثما وجدت مادة فإنه ينحنى وهذا الا[illegible] هو ما يخلق جاذبية وتثاقلاً ، وانحناؤه هذا معناه أنه لم يعد اقليدياً .

هذا التصور يقود اينشتين إلى الالتجاء إلى هندسة معقدة من الهندسات التى أكتشفت فى القرن الماضى هى هندسة ريمان التى عمقها إليا كارثان وآخرون ، وتقبل مكاناً لا اقليدياً ذا أربعة أبعاد . فقد اضطر اينشتين أن يقبل مكاناً لا اقليدياً ذا أربعة أبعاد ، جاعلاً من الزمن البعد الرابع حين يتحد بالأبعاد الثلاثة الأخرى المكوّنة للمكان الاقليدى ، وبذلك تتكوّن الوحدة المسماه « المكان ــ الزمان » بسبب ذلك التجويف الغريب المذكور سابقاً الذى يخلق جاذبية وثقلاً .

ومن العسير تخيل بُعد رابع ، وإذا أردنا الاقتراب منه فلنبدأ من فكرة التزامن أو التعاصر التى يتوقف عليها قياس المكان عند اينشتين .

ماهو التزامن ؟ هو مشاهدة اشارتين ضوئيتين فى آن واحد عند مُشاهد لهما ليبدأ تحركه . ولا يكون ذلك إلا عندما يتوسط بينهما تماماً عند النقطة (ا) المرتفعة الواقعة فى منتصف الطريق بين (ب) و (حـ) وهما الاشارتان . فإذا تحرك فى الاتجاه (حـ) إلى ($ا_٤$) و ($ا_٣$) و ($ا_٢$) ... . إذا أردنا أن نعرف المسافة التى قطعها عند كل نقطة ، فإننا يجب أن نحسب الزمن كجزء من المسافة المقطوعة : لأننا إذا أطلقنا الاشارتين متزامنتين ، فإنه

فى (ا١) مثلاً يرى الاشارة (حـ) قبل (ت) ، وهذا الفارق فى زمن المسافة المقطوعة هو بالطبع جزء منها أى هو البعد الرابع . واننا نعيش فى هذا المكان ـــ الزمان ، وعليه تنطبق قوانين الطبيعة ، وتنطبق على كل الحركات دون استثناء بينها ، كما يؤكد اينشتين . واستعمل أنواعاً من الحساب القائم على الهندسة الريمانية وأهمها حساب التفاضل المطلق ، وبها أقام نظرية النسبية العامة المعقدة التى جعلت عالماً مثل لانجفان يجعل اينشتين نداً لنيوتن إن لم يسبقه قليلاً ، والتي أجرت مداد الباحثين والناقدين إلى اليوم . كما أن للباحثين اضافات مثلاً عن شكل الكون الذى افترض اينشتين أنه منحنٍ أو تجويف . فمنهم من قال إنه اسطوانى الشكل ذو أربعة أبعاد . وهكذا يكون العالم فى النسبية منتهياً فى أبعاده ، ولكنه غير محدود . وقال العالم الأب لومتر أنه عالم يتمدد ، كما قال ذلك ادنجتون . وفى الجانب الآخر من الاطلنطى أجرى علماء مشاهدات تلسكوبية تؤيد الأب لومتر وادنجتون ، وبهذا دخل البحث فى مجال الفلك . وهكذا بعدت نتائج اينشتين كثيراً عن مواقف نيوتن التقليدية فى الطبيعة ، ولكن دون أن يستبق أحدهما الآخر نهائياً فوق مسرح العلم المعاصر ، فأحدهما ألصق بالعالم الأصغر ، والآخر بالعالم الأوسع والأكبر .

بعد هذا الطواف نعود إلى نظرية الضوء من خلال الطبيعيات الذرية وهما جوهر الاتجاهات المعاصرة فى علم الطبيعة . لقد خطت النظرية الذرية خطوات كبيرة منذ ظهورها . وفى عام ١٩٢٥ كانت قد تخطت تماماً التصور المبسط للذرة كنظام شمسى عند رذرفورد إلى تصورات أكثر تعقيداً وتحليلاً . ولكن الميكانيكا الذرية (أى التى تحكم حركة الذرة وأجزائها) كانت مهلهلة متصدعة ، لا وحدة فيها ، وتتابعت الجهود لرأب الصدوع . فحاول بوهر اصلاحها بتطبيق ميكانيكا « الكوانتوم » (= الكم) وسومرفلد بتطبيق نسبية اينشتين ، وبولزمان بتطبيق ميكانيكا احصائية . أما بور الهندى فإنه أقام ميكانيكا خاصة بالفوتون (أحد أجزاء الذرة) وكذلك اينشتين أقام ميكانيكا للالكترون . وكل هذه الميكانيكات المختلفة انشاءات رياضية بارعة ، كل واحدة عالجت نقصاً وحارب بعضها بعضا . وفى هذا الجو المضطرب ظهر مؤلف فرنسى تحول من التاريخ إلى التخصص فى الطبيعيات الذرية هو لويس دوبروى (ينطق اسمه هكذا ويكتب دوبروجلى) .

ففي ١٩٢٣ وجد أن نظرية فرينل وماكسويل فى الضوء نظرية موجية خالصة ، ومن ثم فهى تتعثر فى كهرباء الفوتون (مما اضطر اينشتين أن يضيف إلى الموجه جسيم الفوتون) كما تتعثر فى فهم الظاهرة التى شاهدها كومبتون الأمريكى (١٩٢٣) عندما جعل الفوتون يصدم الالكترونات ، وهى ظاهرة لا تفسر إلا على أساس النظرية الأخرى للضوء وهى نظرية الجسيمات النيوتونية . ومن جهة أخرى وجد كذلك أن نظرية المادة أو الذرة كنظرية جسيمات صرفة تتخبط فى عثرات كثيرة . أليس هذا علامة على ضرورة إضافة موجه لكل جسيم ؟ إن إضافة الموجة إلى الجسيم فى كل الأحوال ، سواء فى الضوء أو المادة ، هى الفكرة الأساسية التى أقامها دوبروى فى ما سماه الميكانيكا الموجية . وذلك تأليف جرىء بين عناصر متنافره ، ويجمع فى قاعدة واحدة المادة والاشعاع . وليس الفوتون الذى استعصى على النظرية الموجية القديمة هو وحده الذى يعطى وثيقة اعترافه بفوائد النظرية الموجية بالنسبة إليه ؛ بل كذلك أجزاء أخرى من الذرة كالبروتون والالكترون قبلت هكذا موجات تصحبها ا وتحرسها فى سيرها ، وأطول تلك الموجات كطول موجة الأشعة اكس X . بهذا زال الحاجز الذى كان يفصل بين عالم الأشعة وعالم المادة ، وموحد علم الفيزياء عند دوبروى ، فلم يعد هناك إلا قاعدة واحدة تحكم العالم كله ، كما لم يعد هناك إلا هوية واحدة ، أو أمر واحد فى الطبيعة له وجه مزدوج نسميه ، حسب الظروف ، تارة موجة ، وتارة جسيماً . وفى هذا الكلام مفارقة يرفضها مبدأ الذاتية ومبدأ عدم التناقض .

ولكن هيزنبرج رفع هذا التناقض بتأسيسه الميكانيكا الموجية والكمية (الكوانتوم) معاً التى تجمع بين الموجه والجسيم كرشقات من جسيمات . وبحث فى الاكتشافات الرياضية عن حساب يسمح بتبرير هذا الجمع فوجدها فى حساب منسى لرياضى هو كايلى الذى سئل عن فائدته فقال انه لا فائدة له . وفى هذا الحساب بدلاً من النظر من خلال العد يكون الاستدلال فيه من خلال مجموعات من الأعداد فى صفوف أو قوائم . ومثل هذا الحساب أتاح لهيزنبرج أن يرمز برمز جبرى واحد لكل الأحوال الممكنة للذرة . وكانت فى الحساب عند كايلى ثغرة هى أنه لما عبر عن الصفوف أو القوائم باعداد وجد عملية الضرب لا تقبل التبادل (أنظر كتابى : أصول المنطق الرياضى) فإن حاصل

ضرب ا × ب ليس كحاصل ضرب ب × ا . وطبعاً نرى فى ذلك غضاضه وممانعه . ولكن لا تلبث أن نرضى عنها ، عندما نعلم أن هذه الحالة تقابل بالضبط استحالة قياس بعدين معاً فى آن واحد بنفس الدقة . بعبارة أخرى علينا كما يريدنا هيزنبرج أن نعلم من نظريته وحسابه : إننا نستطيع أن نحسب « بدقة » مكان الالكترون ولكن مع اكتفائنا بأن نعرف « بالتقريب » فقط سرعته (كم حركته) ، وأن هذه السرعة بدورها يمكن أن تقاس « بدقة » إذا جعلنا « التقريب » منصباً على مكانه . ولا يجتمع التقريب والدقة معاً . هذا هو مبدأ « عدم التأكد » المشهور عند هيزنبرج الذى طرد مبدأ الحتمية من فيزياء العالم الأصغر ، وفى نفس الوقت فقدت موجات « الميكانيكا الموجية » أى حامل شخص يحملها ، كما يحمل الهواء مثلاً موجات الصوت . لقد صارت الموجات مجرد احتمالات رياضية معبرة عن امكان وجود الالكترون فى هذه المنطقة من الذرة دون المنطقة الأخرى ، وبذلك تبدو فيزياء الذرة مجرد انشاء رياضى عبقرى .

هذه الكلمات عن العلم لم أتوخ فيها بيان كيفية تتبع جذور النسبية فى تاريخ العلم من كوبرنيكوس إلى اينشتين ، كما بدا لى ريشنباخ قد فعل فى كتابه هذا ، وإنما اقتصرت فيها على بيان نظريات الطبيعة ابتداءً من فكرة الحركة والضوء إلى اليوم فى نطاق ما تسمح به مقدمة طلبها منى المترجم ليستعين بها الطالب فى دراسة فلسفة الطبيعة إلى جوار النص المترجم . وختمتها بالاشارة إلى الذرة ، ذلك العالم الأصغر الذى لم يره أحد ، والذى يعجب العلماء كيف نسى فى كل ذرة فعلاً هذا العدد الغفير من السكان : البروتون والالكترون والبوزترون والنيوترون والنيوترينوس والفوتون ، مما يحتاج عرضه إلى ضعف ما كتبته هنا . إنه عالم بالغ الصغر، ففى نقطة الحبر التى تضعها تحت الباء مثلاً توجد آلاف من الذرات ، وتحطيم ذرة واحدة أمر بالغ القوة . والله أعلم والحمد لله رب العالمين .

ا . د . محمد ثابت الفندى

الإسكندرية فى أول أكتوبر ١٩٩٠

مقدمة المترجم

مؤلف هذا الكتاب هو هانز ريشنباخ أحد فلاسفة العلم البارزين فى النصف الأول من القرن الحالى ، وهو فى نفس الوقت أحد أقطاب الوضعية المنطقية الذين اسهموا اسهاماً بارزاً فى اثراء الفكر بالتحليلات الفلسفية ، على عكس ما يعتقدون .

ريشنباخ فى هذا المؤلف الذى صدر فى عام ١٩٤٢ يوجه جلّ اهتمامه كفيلسوف علم إلى نوعين مختلفين من العوالم الفكرية: عالم كوبرنيكوس الذى أحدث انقلاباً فى علم الفلك استتبعته انقلابات فكرية متتالية فى شتى ميادين العلم ابتداءً من نظر جاليليو لرصد حركة الكواكب فى السماء ، إلى تعديلات كبلر التى صحح بها شكل المدارات ، وأخيراً قوانين نيوتن فى الحركة وصياغته لقانون الجاذبية . هذا هو العالم الأول الذى تحدث عنه ريشنباخ . وأما العالم الثانى ، فهو عالم اينشتين وما أحدثه من ثورة علمية فى شتى مجالات المعرفة البشرية ابتداءً من نظرية النسبية الخاصة ، وكشفه عن نسبية الحركة ، وحتى وضعه للنسبية فى صورتها العامة .

لقد أراد ريشنباخ أن يبيِّن لنا طبيعة هذين العالمين ، فكان أن مارس مهمته كفيلسوف علم يهتم بالتحليل ، فأقدم على تحليل البناء العلمى فى اطار العلمين ، وكشف عن عناصر البناء وأسسه ، وبيَّن جوانب عدم الاتساق فى بناء العلم الأول ، وما أدت إليه بعض الظواهر من ضرورة اعادة النظر مرة أخرى وفحص عناصر العلم ، واقبال بعض العلماء على الاهتمام بدراسة حالات الشذوذ عن النموذج المتعارف عليه فى ظل العلم الأول .

كانت كل هذه المسائل مقدمات طبيعية لظهور نظرية النسبية لاينشتين ، التى أدت إلى احلال مفاهيم أكثر بساطة ، وأكثر دقة من المفاهيم والتصورات التى سادت فى ظل العلم الأول ، علم كوبرنيكوس .

ويشكل هذا المؤلَّف مقدمة فكرية وعلمية أساسية للدارسين فى مجال فلسفة العلوم ، وأفكاره جديرة بأن تطرح فى إطار سلسلة فلسفة العلوم لأنها سوف تتآزر مع غيرها من الأفكار التى تطرحها هذه السلسلة لاحداث التغيير المنشود فى مجال فلسفة العلوم فى عالمنا العربى ، فلم تعد دراسات فلسفة العلوم تقف عند فرانسيس بيكون أو جون ستيوارت مل كما يعتقد بعض من يقدمون على

تدرسه هذا التخصص ، بل أصبحت الدراسات فى هذا المجال موجهه نحو مشكلات فلسفية تتعلق بطبيعة تصورنا للعلم ، وما يترتب على هذا التصور من نتائج

أقول ، إذا أراد الباحث الجاد ، فى عالمنا العربى ، أن يكون نداً علمياً لمن يشتغلون بفلسفة العلم فى العالم الآن ، فإن عليه أن يلحق بالركب ، ويتابع التطورات العلمية المتلاحقة ، ليفهم ويناقش ، وينقد ليستخلص الفكرة من بين الأفكار المبعثرة المتناثرة هذا وقد وضع ريشنباخ عنوان هذا المؤلف كما يلى :
. From Copernicus To Einstein

ونظراً لأنه يتحدث عن الثورة العلمية التى حدثت فى التحول من أفكار كوبرنيكوس إلى أفكار اينشتين فقد رأيت أن يكون عنوان هذا المؤلف « الثورة العلمية من كوبرنيكوس إلى اينشتين »

وإنى إذ أقدم هذا المؤلَّف للقراء والباحثين أرجو أن تلقى المحاولة التى أبذلها فى مجال دراسات فلسفة العلوم وتاريخ العلوم ، صداها لدى باحثينا علماء المستقبل

وبعد فيطيب لى أن أتقدم بوافر الشكر والامتنان والعرفان لأستاذى المرحوم العلامة الدكتور محمد ثابت الفندى على تفضله بتقديم الترجمة العربية للقارىء منذ أكثر من خمسة سنوات .

والله الموفق ،

ماهر عبد القادر

الفصل الأول
نظرة كوبرنيكوس للعالم

هذا الكتاب الصغير يهدف لأن يكون مقدمة للمشكلات الكبرى الخاصة بالفضاء ، الزمان والحركة فالمشكلات التي يعنى بها هذا الكتاب قديمة . لقد كون الإنسان أفكاراً عن الفضاء والزمان منذ بدء الخليقة ، وراح يكتب ويحارب بفضول كبير وباهتمام أكبر فى هذا المجال بتعصب . لقد كان هذا صراعاً غريباً فى الواقع ، إذا لم يكن له شأن بالحاجات والضرورات الاقتصادية للانسان ، فهو يتعامل مع أشياء مطلقة بعيدة تماماً عن نطاق الحياة اليومية ، وليس لها تأثير مباشر على النشاط اليومى للانسان . لماذا نحتاج أن نعرف ما إذا كانت الشمس تدور حول الأرض أم العكس ؟ مالنا وهذا ؟ هل لهذه المعرفة أى نفع لنا ؟

وما أن أطلقت هذه الأسئلة ، حتى أدركنا سخافتها . فربما هي غير ذات نفع لنا ، ولكننا نريد أن نعرف شيئاً عن هذه المشكلات . فنحن لا نريد أن نكون كالعميان فى هذا العالم ، إننا نرغب فى أكثر من مجرد الوجود . نحتاج إلى هذه العناصر المكملة لنمارس شعوراً بمكاننا فى العالم . فالأسئلة الكبرى حول معنى نشاطاتنا ومعنى الحياة على وجه العموم غالباً ما تتضمن مشكلات فلكية . هنا يقع السر المحيط بعلم الفلك .

هنا يقع التعجب الذى نحس به عند رؤية السماء ذات النجوم ، ذلك التعجب الذى يزداد معه فهمنا للمسافات الشاسعة للفضاء وبطبيعة النجوم الداخلية . هنا مصدر الفلك العلمى وكذلك الفلك الشعبى .

هذان الفرعان للفلك انفصلا فى طور تطورهما . الفلك ، كعلم ، بدأ ينسى علامات التعجب التى بدأها ، بل وعلى العكس من ذلك ، أخذ يقترب من الكواكب ببحث دقيق وحسابات أدق . هذا المستوى من كشف الغموض الخاص بالكواكب وطبيعتها المادية ، التى استلزمتها الدراسة العلمية ، قد عبرت بعلم الفلك إلى مستوى أعظم مما يتصوره الرجل العادى . بملاحظة علماء الفلك اليوم . كيف يقيسون ، وكيف يأخذون ملاحظاتهم ، كيف يحسبون ،

وكيف يولون اهتماماً قليلاً جداً للأمور الغيبية (الغامضة) . يمكن للمرء أن يعجب لوجود هذا البناء العجيب للمعرفة مجرداً وجافاً

إلى الآن ليس هناك ما هو أكثر خطأ أو مدعاة للرفض من الشعور بالخسارة الفادحة التي تحطم القلب التي يشعر بها بعض الناس فيما يختص بجلاء الغموض حول السماء .

رغم أن العلم قد حطم الكثير من الخزعبلات الساذجة ، ووضع مكانها معلومات عظيمة تجعلنا نتحمل الخسارة (السابق ذكرها والخاصة بالأمور الغيبية) .

بالطبع ، الأمر يستنفذ طاقة وحرص شديدين لفهم الاكتشافات العلمية ولكن الذى يأخذه على عاتقه مكلف بتعلم أشياء عجيبة ، وأكثر عجباً من تلك المعلومات الساذجة التى تحتويها — دراسة الطبيعة .

إن الفلك العلمى مارس فى الواقع تأثيراً كبيراً حول تفكيرنا اليومى والمفهوم الشائع للعالم .

ولو أنه من الصعب اليوم ذكر اسم كوبرنيكوس دون التفكير فى نقطة تحول تاريخية ، ذلك ليس لأن الإسم كان مرتبطاً بتحول عميق فى العالم ، وإنما أيضاً لأن جميع معلوماتنا وتفكيرنا ، قد تأثرت تأثراً عميقاً باكتشافه . فمعلومة أن الأرض لا تشغل مركز العالم تعنى أكثر من كونها حقيقية فلكية . فنحن نفسرها على إنها تأكيد على أن الانسان ليس هو مركز العالم . كل شىء يبدو لنا كبيراً وقوياً ، هو فى الحقيقة ذو دلالة بسيطة ، إذا ما قيس بمعايير عالمية . هذه المعلومة (الأرض ليست مركزاً العالم) أصبحت ممكنة كنتيجة للتطور العلمى عبر آلاف السنين ولكن هى بالتأكيد تصطدم بخبراتنا الواقعية ، فالأمر يحتاج إلى تمرين للفكر كثير لتصديقها فالآن نحن ندرك هذه الأشياء ، لأننا نشأنا منذ الطفولة فى ضوء اكتشاف كوبرنيكوس . ولكن لا يمكن انكار أن هذه الفكرة تتعارض مع مشاعرنا الداخلية ، حتى أى دليل حديث يوضح أن الأرض تقف ثابتة بينما السماء تتحرك من منا يستطيع أن يعلن بجدية كاملة أنه قادر على أن

بمحيل الحجم الهائل للشمس . أو أنه قادر على ادراك المسافات العالمية مخترقاً بدلك جميع طرق القياس الأرضيه ؟

الواقع أن أهمية كوبرنيكوس نكمن فى أنه حطم اعتقاداً قديماً كانت تدعمه جميع المشاعر واستطاع أن يفعل هدا لأنه كان متمكناً من قدر كبير من الأفكار العلمية والمعلومات العملية . استطاع أن يفعل هذا لأنه نفسه اتبع طريقة بعيدة عن الخيال فى المعلومات قبل أن يتلمس اعتبارات جديدة أوسع .

لو جرؤنا على تتبع تطور مشكلات الفضاء والزمان فى الصفحات التالية ، بدءاً من اكتشاف كوبرنيكوس وانتهاءً عند نظرية كوبرنيكوس العصر التى لازال المدخل إليها صعباً ، فليس أمامنا فى هذا المجال سوى التفكير العلمى الشاق لكل خطوة على الطريق

يجب أن نضيف أن كتشافات العلم الحديث قد أصبحت ممكنة فقط من خلال وفرة المادة العلمية الجديدة . فاسهامات اينشتين بكل المعانى هى نمو هائل للانعكاسات الفلكية فقط . وهى تستند على حقائق نظرية الكهرباء أو الضوء . نحن نستطيع أن نفهمها بقدر فهمنا لهذه المصادر . لعل هذا التفرع من عدة مصادر هو الخاصية الكبرى لنظرية النسبية . بينما العلم الحديث ينمى نظرية النسبية على وجه الخصوص ، فإن المصادر الأقدم تقدم المادة لبناء نظرية عامة للنسبية ، والتى فيها تختلط المعلومات القديمة والحديثة فى وحدة كبيرة .

فى هذا الفصل سوف نتناول المادة القديمة ، وفى الفصلين التاليين نقدم النسبية وأصولها ، والفصول الثلاثة الأخيرة تختص بعملية خلط المعلومات وبالتالى للنظرية العامة للنسبية .

إن صورة العالم كما قدمها كوبرنيكوس ترجع إلى الاغريق القدماء . فقد تحددت فى حوالى ١٤٠ م وحددها بطلميوس كلاوديوس من الاسكندرية وظهرت فى كتابه المشهور « المجسطى » وأهم ظاهرة فى رؤية بطلميوس للكون هى مبدأ أن الأرض مركز الكون ، والكون السماوى يدور حولها . كان

بطلميوس يعلم تماماً أن هذا الشكل الدائرى خلف الأفق . هذا الشكل هو الذى نحدده أمام الأفق فى حقيقة . كان بطلميوس يعلم أن الأرض كوكب وأدلته على ذلك تبيّن معلومات فلكية كثيرة هو يوضح ، بادىء ذى بدء ، وجود انحناء من الشمال إلى الجنوب بما أن النجم القطبى يوجد أعلى فى الشمال وأكثر انخفاضاً فى الجنوب ، فإن سطح الأرض لابد وأن يكون منحنياً بناءً على ذلك . ودليل وجود انحناء من الغرب إلى الشرق يوضح قوة ملاحظة أكثر فحين توضع الساعات الشمسية فى مكانين أحدهما شرقى والآخر غربى ، وحين يحدث خسوف القمر فإنه سوف يرى فى كل من الاتجاهين فى وقتين مختلفين والخسوف حدث واحد يمكن ملاحظته ، يجب أن يرى فى كل مكان فى آن واحد من هنا سنستنتج أن الساعتين فى المكانين ليستا على خط واحد ، ويكون هذا نتيجة لانحناء الأرض فى الاتجاه الغربى الشمس تمر من خط الاستواء فى أوقات مختلفة فى الأماكن المختلفة .

رغم معرفة بطلميوس بالشكل الدائرى للأرض ، فإنه كان بعيداً عن الاعتقاد بحركتها . بل وعلى العكس اعتقد أنه لا يمكن أن تتحرك الأرض على الاطلاق ، سواء حركة أمامية أو خلفية لكنه قبِل امكانية وضع فكرة دوران الأرض للأمام فى الاعتبار على اعتبار حركة النجوم

لكنه يقول . « إذا ما لاحظنا كل ما يحدث حولنا فى الهواء فسوف تتضح الفكرة فى عدم امكانية دوران الأرض . لأن الأرض إذا كانت تدور بحركة أمامية ، فإنها ستترك الهواء خلفها ، وتترك خلفها كذلك الأشياء الموجودة فى المحيط الفضائى والتى لا تستطيع أن تتابع حركة الارض ، كالطيور المحلقة مثلاً أما دوران الأرض للخلف فمرفوض أيضاً ، لأنه فى هذه الحالة سوف تترك الأرض مركز الكرة السماوية ، ونرى فى الليل جزءاً صغيراً من الكوكب وفى النهار نرى جزءاً أكبر »

من هذه المناقشة يتضح لنا أن الفلكى العظيم (بطلميوس) قد أوتى هذه المسكنة قدراً كبيراً من التفكير وفى ضوء معلوماته المحدودة عن ميكانيكا

وعن المسافات السماوية فإننا نجد استنتاجاته معقولة فيما يتعلق برفضه لفكرة الدوران ، لكنه لا يمكن أنه أغفل أن المسافة بين النجوم كبيرة بالقدر الذى يجعل الحركة الأفقية للأرض غير ملحوظة تماماً .

الأجرام السماوية ، تبعاً لبطلميوس،محدودة بالتحركات العامة . طريقها ، كما يلاحظ فى السماء ، محدد بمدارات دائرية ، ونتيجة لذلك ، يظهر ما نسميه بفلك التدوير (دائرة فلكية صغيرة يكون مركزها هو نفسه مركز دائرة فلكية أكبر) . من هذا نستطيع القول أن بطلميوس قد فهم فعلاً تحركات الكواكب .

حين يفهم المرء نظرية كوبرنيكوس ، نكتشف الحقائق الموجودة وراء فلك التدوير عند بطلميوس حلزون الكواكب يعكس حركة مزدوجة بالمقارنة بحركة الأرض . فهى (الكواكب) فى البداية تتحرك فى دائرة حول الشمس ، ثم بعد ذلك يمكن ملاحظة تلك الحركة من خلال الحركة التى تدور بدورها حول الشمس .

نظرية بطلميوس عن الكون هيمنت على العقل البشرى قرابة الألف عام . ومن بين البشر الذين عرفوا هذا التقليد الصارم كان نيكولاس كوبرنيكوس ، الذى استقل بفكره كثيراً وحصل على قدر كبير من المعلومات العلمية ، وكان لديه من الرؤية للعلاقات العليا فى الطبيعة ما يمكنه من ايجاد مدخل جديد للحقيقة .

كان عبقرى مدينة فراونبرج معروفاً كفلكى متعلم قبل ظهور أفكاره الجديدة . درس فى ايطاليا جميع فروع العلوم ، وزاول الطب ومثل الكنيسة فى مدينة الأم ، وكانت معلوماته الفلكية معترف بها حتى أنه فى عام ١٥١٤ طلب منه مجمع اللاتران Lateran اجراء تعديل على التقويم . تشكلت أفكاره الجديدة عن نظام الكون فى أساسها حين كان عمره ٣٣ سنة ، ولكنه لم يعلنها آنذاك ، وكرس السنوات التالية من عمره لتطوير دقيق وتحديد لنظرياته ،ولم ينشر فى حياته سوى أجزاء من دراسته . وكان عنوان عمله الرئيسى « عن دوران

الأجرام السماوية «Of the Rotation of Celestial» الذى ظهر بعد وفاته فى عام ١٥٤٦ .

قرأ كوبرنيكوس مسودات الكتاب وهو على فراش الموت ، لذلك لم يلاحظ أن صديقه أوزياندر Osiander قد زود الكتاب باطار يوفق فيه بين النظرية الجديدة وبين آراء الكنيسة .

وإذا فحصنا المسودات التى قدمها كوبرنيكوس عن نظريته الجديدة نجدها غير كافية على اعتبار معلومات العصر الحديث . لقد كان قادراً فى الحقيقة على ايضاح البساطة الشديدة فى نظامه . فهو يجد من المحتمل أن النجوم تتحرك بسرعة كبيرة فى مداراتها الواسعة ، ويجد من المحتمل أيضاً أن الأرض تدور حول مركزها ، فتكون سرعة الحركة فى كل نقطة بعينها قليلة . وهو فى هذا يعارض بطلميوس فى أن حركة الأرض ليست اضطرارية (نتيجة لحركة النجوم) وإنما هى أمر طبيعى . فحركتها لها قوانين تختلف تماماً عن الحركات الأخرى (الخاصة بالنجوم) التى تتخذ شكل تقلبات مفاجئة . جميع هذه الآراء الآن ليست ذات بال . فنحن نعرف اليوم أن نظرية نيوتن تحتوى على أول دليل حقيقى على نظرية كوبرنيكوس للكون . ولكن يبدو أن الأفكار الجديدة لا تجد لها موطىء قط إلا بقوة تستمدها من قربها من الحقيقة قبل تتحدد لها أدلة مادية .

من ناحية أخرى ، يجب أن نذكر أن نظرية كوبرنيكوس تقدم لنا حساباً دقيقاً لحركة الكواكب ، وأن جدولة هذه الحركة (فيما يعرف بـ افيميريديس Ephemerides) المصاحبة لها أصح وأعلى من الجداول الأقدم . هنا يقع أحد الأسباب التى جعلت العلماء يقبلون نظرية كوبرنيكوس ، رغم إنه من الضرورى أن نحدد ، من المعلومات الحديثة ، أن النتائج التى توصل إليها يمكن حسابها بشكل أو بآخر من نظرية بطلميوس . وأكثر من ذلك ، فإن كوبرنيكوس حسب بدقة أنصاف أقطار الأفلاك الخاصة بالكواكب (فيما

يقل عن ١٪) . وفى الحقيقة ، لقد عرف أن الشمس يجب أن تخرج عن مركز المجموعة الشمسية بافتراض أن عكس ذلك يؤدى إلى تناقض كبير .

حتى هذا لازال هناك فاصل كبير بين هذا الاكتشاف وبين التوصل إلى معرفة الشكل البيضاوى للأفلاك ، فالوصول إلى نتيجة بهذا الشكل يحتاج إلى أدوات فلكية أفضل . وفى هذا الخصوص ، يجب أن نتذكر تيكو براهى Tycho Brahe الذى لم يكن واضع نظريات بقدر ما كان صانع أدوات .

استطاع براهى أن يعمل لعشرات السنوات فى حماية ملك الدانمارك ، ويبنى قلعة أورانيبزج على جزيرة وألحق بها منطقة عمل لصناعة الأدوات ، وتطورت عنده الصناعة . على سبيل المثال ، كان على كوبرنيكوس أن يقنع بقياسات فى حدود الـ ١٠َ من القوس . وهذا القياس يساوى زاوية تغطيها قطعة من فئة ٥ بنسات على مسافة ٦ أمتار (المقصود مسافة صغيرة جداً بالنسبة لقياسات الأجسام السماوية وأفلاكها) . هذه الزاوية يمكن أن تغلق بنفس قطعة العملة على مسافة ١٢٠ متر بأدوات العصر الحديث ، بالطبع ، يمكن قياس الزوايا فى حدود $\frac{١}{١٠٠}$ من الثانية من القوس ، ويمكن وضع العملة على مسافة ٣٦٠ كم لتغلق هذه الزاوية الصغيرة .

هذا التقدم والدقة أمكن التوصل إليهما باستعمال التلسكوب وكان على تيكو براهى أن يعمل بدون تلسكوب .

لا زالت توجد إلى الآن إحدى السداسيات (السدسية أو Sextant آلة لقياس ارتفاع الأجرام السماوية من سفينة متحركة) . الخاصة بتيكو براهى والتى استعملها فى قياس المريخ ، لازالت موجودة فى مرصد براغ ، حيث كان تيكو براهى منفياً من الدانمارك ، وحيث قضى السنوات الأخيرة من عمره سنة ١٦٠٠ .

الصورة رقم ١ توضح هذه الأداة التاريخية . الأداة كلها يمكن تحريكها عند النهاية العليا للقدم . وهى تبلغ ١ $\frac{١}{٢}$ متر عند الساق . القدم يمكن ادارتها وبها

فتحة ضيقة فى القاع عند اليسار ، وطبق حديدى به انحدار ، تثبت به حافة حادة عند النهاية العليا للساق (على اليمين) . هذا الجزء الأخير ينحدر عبر الزاوية طبق الرؤية نفسه الذى يبلغ مقاسه بضع سنتيمترات يتكرر بشكل مكبر عند الركن الأيسر من أعلى .

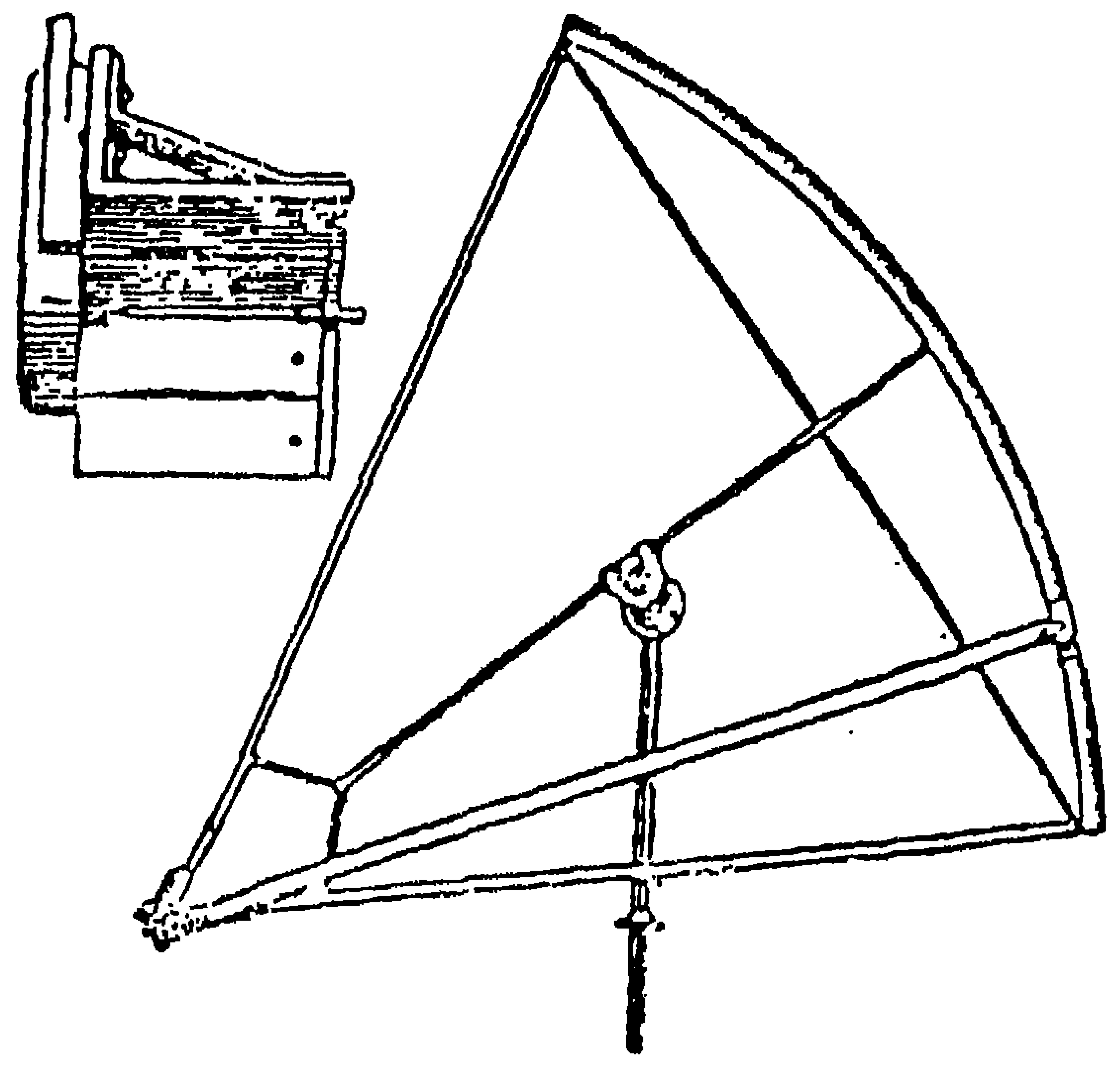


Figure 1. A Tycho Brahe's Sextant

باستخدام هذا الجهاز البدائى ، استطاع تيكو براهى أن يجد المادة العلمية التى يستند عليها علم الفلك الحديث .

وكان الرجل الذى أكمل عمل تيكو براهى هو مساعده يوهان كبلر Johon Kepler الذى تخطت شهرته شهرة أستاذه . بدأ كبلر ملاحظاته باستخدام سداسيات تيكو براهى ، وحدد مراحل حركة المريخ بملاحظاته الشخصية ، حتى أنه استطاع اعلان أنها تأخذ الشكل البيضاوى . واكتشف من خلال القياس قوانين أخرى لحركة الكواكب ، وهى التى تعرف باسم قوانين كبلر . ويجب أن نؤكد على شخصيته هذا الرجل القوية التى تعلن عن نفسها فى رغبته الفائقة فى الدقة العملية . كان كبلر فى البداية متأثراً بالغموض

ولا يميل إلى الملاحظات المجردة . وركز فى أعماله الأولى على البحث عن توافق رياضى غريب للطبيعة ، ومثل هذا الهدف جدير بأن يجنح بصاحبه إلى هدم الحقائق بدلا من تأسيسها . ومن المسلم به أن كبلر قد انتصر لهدفه بتلك الدقة المعملية وليس بالتأمل . وهو نفسه يعبر عن هذه الفكرة ، فى كتابه بعنوان : « انسجام الكون » الذى ظهر فى سنة ١٦١٩ . يكتب بخصوص اكتشافه للقوانين « أخيراً وجدتها » ، وآمالى وتوقعاتى ثبت صحتها بأن انسجام الطبيعة موجود فى الحركات السماوية سواء فى حركتها الجماعية أو المنفصلة ، رغم أن ذلك ليس بالطريقة التى تصورتها قبل ذلك ، وانما بشكل آخر أكثر اكتمالاً ... لو سمحتم لى سأكون سعيداً ، ولو غضبتم منى فسوف أتحمل . هنا أضع زهرى وأكتب كتاباً يقرؤه الحاضرون أو تقرؤه الأجيال المقبلة . وربما ينتظر قروناً ليجد من يقرأه .

لا يجب أن ننسى أنه رغم تقدم الصورة الفلكية للعلم من خلال اكتشافات كبلر ، إلا أن صورة العالم فى الأساس كوبرنيكية . فكل من كوبرنيكوس وكبلر كان يعتقد أن النظام الشمسى يستغرق كل مسافة الكون . النجوم ، تبعاً لهما ، هى فقط دقيقة فى محيط السماء . حين عبر جوردانو برونو عن أفكاره فى لا نهائية القبة السماوية وأن النجوم مستقلة عن المجموعة الشمسية ، تقدم كبلر للهجوم على الفكرة . كم كان صعباً فى الحقيقة صعود السلم للوصول إلى معلوماتنا الآن .

بعد كبلر حقق علم الفلك تطوراً آخر من خلال وسائل الملاحظة أيضا ومن خلال اختراع التلسكوب . والسبق فى اختراع التلسكوب واستخدامه كان لجاليليو نرغم أنه ليس المخترع الأصلى للتلسكوب ، ولكنه صنعه بعد أن سمع عنه ، وجه جاليليو جهازه إلى القمر وتعرف على مواقعه ، من خلال حدوده الخشنة وضوئه المتنقل ، على هيئة جبال ضخمة (سنة ١٦١٠) . ثم وجهه نحو الزهره ورأى شكله الذى يشبه المنجل الشبيه بالقمر ، الذى افترض أنه يأخذ الضوء فى بعض الفترات من الشمس . ثم وجه التلسكوب إلى عطارد

ورأى صورته الثلاثية ولم يحدد تفاصيلها بعد . ثم وجه إلى المشترى ورأى أقماره الأربعة الأكثر لمعاناً .

جميع هذه الحقائق بتوسعها وتطويرها لعالم كوبرنيكوس لابد وأنها أذهلت معاصريه . وهى أيضاً بالتأكيد أثارت معارضه مدرسة العلماء القديمة الذين يرون معلوماتهم المستندة إلى أرسطو فى خطر محقق .

يتضح موقف جاليليو الحرج من خطاب أرسله إلى كبلر : « أنا ممتن لك كثيراً لاهتمامك ببحوثى منذ بدايتها ، وقد أصبحت بذلك الأول بل الوحيد الذى أدرك مضمونها ، ولا يتوقع من رجل فى مثل صراحتك ودقتك غير هذا . ولكن ماذا ستقول لفلاسفة جامعتنا المزعجين ، الذين رغم أننى كررت عليهم الدعوة ، يرفضون أن ينظروا لا إلى القمر ولا إلى التلسكوب وهكذا أغلقوا عيونهم عن ضوء الحقيقة . هذا الصنف من الناس يعتبرون الفلسفة بالنظر كالالياذة أو الأوديسة ، ويعتقدون أن الحقيقة سوف تكتشف ، كما يؤكدون ، من مقارنة النصوص وليس من خلال دراسة العالم أو الطبيعة .

سوف تضحك لو سمعت بعض فلاسفة الجامعة المبجلين يحاول مناقشة أن الكواكب الجديدة ليس لها وجود ويناقشون بالمنطق فقط كما لو كانت هذه الأشياء محض خيال » . يحكى جاليليو كيف رفض عالم آخر أن يلقى نظرة من خلال التلسكوب قائلاً : « لأنه سوف يسبب له لخبطة فقط » . إن قَدَرْ جاليليو المحزن ، والذى سببته تلك العداوة ، معروف . كان عليه أن يدفع من عمره سنوات تعذيب وسجن لجرأته على نظرية كوبرنيكوس .

انجاز آخر لجاليليو ليس له فى الواقع صلة مباشرة بالفلك . إذ كان جاليليو أول من بحث فى قانون الأجسام الساقطة ، وهو بذلك أسس القوانين الأساسية التى يعتمد عليها علم الميكانيكا . والأجهزة التى صنعها كانت بدائية جداً ، فهو لم يستخدم ساعة بالمعنى المفهوم حديثاً ، ولكن كان يقيس الوقت بالماء المار فى إناء . ورغم كل شيء استطاع تحديد العلاقة بين المسافة ووقت السقوط ،

وقانون تغير السرعة . اكتشف أيضاً حقيقة تدعو للتعجب فى عصره ، وهى أن جميع الأجسام تسقط بسرعة واحدة . أخيراً ، كون القانون الأساس للحركة ، والذى سمى باسمه . إن كل جسم غير متأثر بقوة خارجية يتحرك فى خط مستقيم بسرعة موحدة ، وأن هذه الحركة لا يمكن أن تتوقف بذاتها .

رغم أن هذه القوانين تبدو معلومات أساسية ، لكنها تشير إلى تقدم هائل إذا ما قورنت بالفترة السابقة لها .

لم يكن هناك اتجاه آنذاك لجمع المعلومات ، وكان السائد أن كل ما يمكن أن يعرفه الإنسان يأتى عن طريق التفكير . كان أعظم انجازات جاليليو أنه بدأ فحصاً مباشراً فى الطبيعة ، وأبعد من ذلك أخذت اكتشافاته دلالات أكبر وأوسع حين أسس نيوتن على هذه الاكتشافات ميكانيكا السماء .

وقد سَخَّرَ القَدَرُ الفيزيائى الانجليزى اسحق نيوتن (١٦٤٣ — ١٧٢٧) ليقوم بدور رئيسى فى تاريخ العلوم الطبيعية لهذه الفترة ، فكان هو الذى وضع اكتشافات كل من كوبرنيكوس وكبلر وجاليليو فى نظام واحد موحد ومنجزاته الثقافية ليست عالية جداً ، ولكنه بعبقريته أدرك أن قوة الجاذبية الأرضية التى شعر بها جاليليو فيما يختص بدراسة الأجسام الساقطة ، لها دلالة تتخطى محيط الأرض ، إن هذه القوة الجاذبة تتضمن ثروة ضخمة ، وهى تحدد سلوك الكواكب عبر المسافات الكونية .

هذه الرؤية العميقة فى طبيعة الأشياء صحبها حذر وحرص شديد من نيوتن فى الدراسات العلمية . لقد بدأ بالافتراض الصحيح أن قوة الجاذبية لابد إنها تقل عبر المسافات ، فحسب بذلك امتداد هذه القوة التى أدركها جاليليو على سطح الأرض . وأنها تبلغ مسافة القمر ، ثم حسب المدة التى يحتاجها القمر ليدور حول الأرض ، إذا كانت تلك القوة الجاذبة للأرض هى التى تتحكم فى حركة القمر . كل هذا كان تطويراً كبيراً للفكرة الأساسية . كان الحظ ضد نيوتن ولم تسفر فحوصه عن شيء سوى توافقها مع الحقائق القائمة قبل ذلك . الآن نواجه عظمة هذا العالم الكبير ذى الشخصية القوية فى مواجهة الفشل .

لقد وضع حساباته جانباً دون نشر كلمة واحدة (١٦٦٦) ، وبعد عشرين سنة استطاع أن يعرف الخطأ . إن طول نصف قطر الأرض ، كما حسبه نيوتن ، لم يكن سليماً . فبقياس فلكي جديد اتضح أن مقاييس نصف القطر ضده تتوافق مع حركة القمر .

إن ميكانيكا نيوتن تأكدت الآن ، وبدت كمفتاح سحرى لمعاصريه . فنظريته حولت الحقائق الرئيسية للقرون الماضية ووضعتها فى نظام واحد ، بما فيها نظرية كوبرنيكوس عن حركة المجموعة الشمسية ، وقوانين كبلر عن الأفلاك وقوانين جاليليو عن الأجسام الساقطة ونطاق الجاذبية الأرضية . لم يعش كبلر ليهنىء بهذا النصر العظيم ولكن دون شك ، كان سيغتبط بإيجاد دليل على توافق الحركات الكونية .

وقد تحقق مفهوم كوبرنيكوس للكون علمياً ، وانضمت إليه القوانين التى تحكمه،وإلى هذا الوقت كانت نظرية كوبرنيكوس ، بالمقارنة مع نظرية بطلميوس ، تظهر بساطة شديدة فى شرح صورة الكون .

ولكن الآن بإضافة ميكانيكا نيوتن أصبحت هى النظرية الوحيدة المقبولة (كوبرنيكوس) التى شرحت ووضحت وقدمت شرحاً للظواهر الطبيعية ونظام كونى تحكمه القوانين . لقد كان قدر العقل الغربى أن يحتوى تلك الصورة الكونية .

هكذا تنتهى المرحلة الأولى للفيزياء الجديدة . والتى تحقق فيها طريقة جديدة للتساؤل،تلك الطريقة التى تحكمت فى العلوم الطبيعية منذ ذلك الوقت،إن جمع الحقائق هى نقطة البداية للبحث ، ولكنها ليست النهاية . فقط حين يأتى الشرح كصاعقة من البرق وتنصهر الأفكار المنفصلة فى بوتقة من التجانس ، هذه هى المرحلة التى نطلق عليها الفهم ، وهى التى تقنع الروح الباحثة .

والفصول المقبلة سوف توضح كيف تطورت الفيزياء الجديدة باستخدام هذه الطريقة .

الفصل الثانى
الأثيــــر

أشرنا من قبل فيما يتعلق بصورة كوبرنيكوس للكون ، أن المشكلات الفلكية للحركة وللجاذبية الأرضية تقدم مصدراً من مصادر نظرية النسبية . مصادرها الأخرى تجيء فى نظرية الكهرباء ، والضوء. وسوف نهتم الآن بهذا المصدر الأخير وهو الكهرباء والضوء . لذلك سوف نتبع الاتجاه السائد فى التطور الذى يميز المفهوم الحديث للكون الطبيعى . الحقيقة أن علم الفيزياء أجبر على أن يتخطى نظرة كوبرنيكوس وجاليليو ونيوتن بتلك التساؤلات التى تظهر عن الكهرباء والظواهر الخاصة بالرؤية . هؤلاء الرجال ، الذين يعتبرون مؤسسين فى وقتهم ، صمدوا فى جو عدوانى ، كما نستنتج من كلمات جاليليو السابقة . بالنسبة للمرحلة التالية كان هؤلاء الرجال يمثلون الكلاسيكية أو السلطة التى تزعمت الفترة ، ودرست أعمالهم من أجيال من العلماء ، وكان على الجيل الأصغر أن يحارب ضدهم فى حركة كتلك التى جعلت من هؤلاء السابقين رجالاً مشهورين .

ويبدو أن المعلومات عن الطبيعة يمكن الوصول إليها فقط من خلال صراع بين جيلين متعاقبين . فما يعتبر فى وقت من الأوقات ثورة على العقل البشرى يعتبر بالنسبة للعصر التالى حقيقة مسلم بها ، وتعتبر معلومات مدرسية يعرفها الإنسان من البيئة ويختبرها أو يمارسها فى حياته اليومية .

هكذا ننسى أن نضع المكتشفات الكبيرة فى نقد مستمر . وأن تفقد القدرة على النظر بعمق للأشياء . وهكذا ينسى الإنسان أثناء انشغاله بالتفاصيل أن يعيد النظر لكل الأساس الذى تقوم عليه معلوماته . لذا نحن نحتاج دائماً لأناس مثل « كوبرنيكوس » الذين يتساءلون فى كل الأمور حتى الواضح منها ، ويخترقون أسس الحقائق اختراقاً عميقاً .

إن تاريخ دراسة الضوء يوضح لنا هذه المراحل السابق ذكرها ، لأنها تبدأ باتجاه محدد لفهم ظاهرة الضوء على أساس أفكار ظهرت من علم الفلك الحديث وعلم الميكانيكا .

كان هناك اتجاه لجعل الميكانيكا هى الأساس الأعلى لكل المعلومات ، لكن هذا الاتجاه فشل . ونجد أن مشكلة الضوء أيضاً ، يمكن أن تحل فقط بنفس منهج كوبرنيكوس .

حتى ذلك الوقت لم تكن الميكانيكا قادرة على توضيح ظواهر الكترونية أو ظواهر خاصة بالرؤية ، ولكن على النقيض من ذلك كان يجب أن توضح الميكانيكا عن طريق هذه الظواهر . كان هذا طريقاً وعراً تعترضه الكثير من الإحباطات . فحينما تتكون نظريات جديدة ، تظهر أيضاً خبرات جديدة تشير بالتحديد إلى عدم الدقة فى الحل الذى تم التوصل إليه .

إن أول وأهم الخطوات لفهم الضوء كانت فى عصر نيوتن بواسطة عالم الفلك الدانماركى « أولاف رومر » Olaf Romer فى عام ١٦٧٦ فقد كان اكتشافه ذا دلالة عميق ، حيث حدد هذا الفلكى سرعة الضوء وبهذا يكون قد اكتشف ليس فقط نتيجة رقمية جديدة وإنما أيضاً مفهوماً فيزيائياً جديداً ، فحتى هذا الوقت لم تكن فكرة أن الضوء يحتاج إلى وقت لينتشر قد خطرت له على بال . وهكذا ظهرت بين العلماء عقول واسعة تتنبأ بإمكانية وجود مثل هذه الحقيقة . وهى الآن حقيقة تدرس فى المدارس للجيل الصغير . ولكن يجب أن ندرك : كم تتناقض مع ما يلمسه الفرد بنفسه ؟ فمن الطبيعى أن نقول أن الضوء يملأ الغرفة بمجرد أن نحرك مفتاح النور ، ولكن ليس الحال هكذا على الاطلاق ، لأن الضوء ينتشر بالتدريج من الجهاز الالكترونى (لمبة) ثم إلى باقى الحجرة . وكلمة « بالتدريج » لها معنى فعلى . فانتشار الضوء فى هذه الحالة يحتاج لحوالى $\frac{١}{\text{مليون}}$ من الثانية . هذه السرعة الهائلة للضوء تفسر لماذا لا نستطيع أن نلمس تدرج انتشار الضوء بسهولة .فالقياسات الدقيقة جداً هى الوحيدة التى يمكن أن تحسب الوقت الذى تحتاجه أشعة الضوء للانتشار .

هذا الاكتشاف بقى قاصراً على الفلك ، وهو علم جمع القياسات بملاحظة

المسافات الهائلة ، فهو يعطى ظروف مناسبة لتحديد سرعة الضوء . فحص أولاف رومر خسوف الأقمار الخاصة بالمشترى فقد شاهد اختفاء وظهور هذه الأقمار ، حين تمر فى مدارها الفلكى بالشكل المدبب (شكل الكونة Cone) للكوكب (المشترى) وكنتيجة لذلك ، وجد أن المدة التى يستغرقها هذا الاظلام للقمر ليست متساوية ولكن تختلف بالتوالى تبعاً للوقت الذى تحدث فيه عن السنة .

مثل هذه الملاحظات فى أجسام بعينها تقود فى أكثر من مرة إلى رؤى عميقة ، فى تاريخ العلوم ، داخل طبيعة الكون ، فيبدو الأمر كما لو كانت الطبيعة تخبىء العلاقات الرئيسية فيها ، حتى تكتشف خطأ شائعاً فى النظريات .

يظهر اتجاه رومر فى تحديد وجود سرعة الضوء من خلال اختلافها بالملاحظة ، وحتى القيمة الرقمية لهذه السرعة يمكن أيضاً تحديدها بدقة ويمكن فهم اتجاه تفكير « رومر » من صورة رقم ٢ .

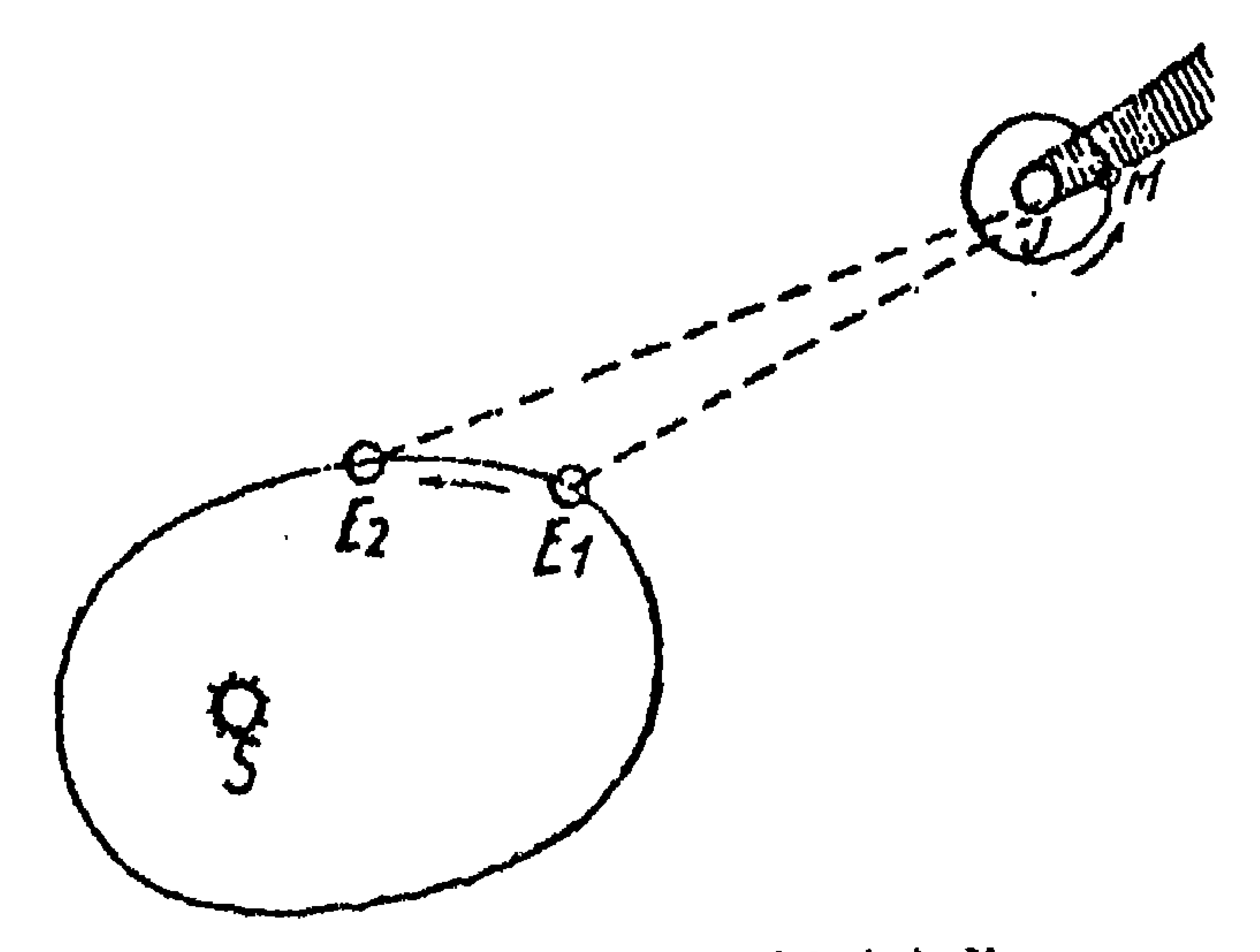


Fig. 2. Roemer's Observation of Jupiter's Moon

إن طريق الأرض هنا يمكن تحديده كالكسوف مع الشمس . ونرمز للشمس بالحرف S فيحتل عطارد أحد مراكزها (ويرمز له بالحرف J) وذلك فى مدار أحد أقماره ، ويقع على اليمين (من الواضح أن حدود الرسم هنا تجعل

من الصعب توضيح مسافات وأحجام حقيقية) . نلحظ حين يدخل القمر فى الظل الذى يشكل الكونه عطارد عند النقطة M ، يرسل القمر آخر شعاع ضوء ، يصل إلى الأرض بعد ذلك بعدة دقائق عند النقطة E_1 . وبعد بضعة أيام يظهر القمر من ظل الشكل الكونى ، ويدور ببطء حول عطارد ، ويصل مرة ثانية للنقطة M ، وهى فى الحقيقة ليست نفس النقطة M الأولى ، لأن عطارد وأقماره يتحركون ، ولكن حركة بطيئة جداً أغفلناها فى شرحنا . وفى لحظة الاختفاء الثانى ، يرسل القمر مرة أخرى آخر شعاع ضوء يصل إلى الأرض وهذا الشعاع الأخير يتحرك إلى E_2 ، وبهذا يكون للشعاع مسافة أطول ليصل إلى الأرض . فهل الأرض لازالت عند E_1 ، وحين يلاحظ الفلكى اختفاء القمر عند M كل مرة بعد فترة محددة تبعاً للوقت الذى يحتاجه الضوء ليقطع المسافة $M E_1$ فى الحالتين ، فإن التأخير سيكون متساوياً ، والمدة التى تستغرقها دورة مدارية للقمر ستكون صحيحة . ولكن الأرض لم تكن ثابتة بل تحركت إلى E_2 ، وبذلك يكون للضوء رحلة أطول ليعبرها وهى $M E_2$. أما فى الوقت التى تحتاجها الرحلة فهى المسئولة عن الاستطالة الخاطئة للمدة التى يحتاجها المدار ، أثناء مدة حركة القمر المعروفة من مصادر أخرى (بالتالى لا يمكن مناقشتها هنا) .

وبما أن المسافتين $M E_1$ و $M E_2$ يمكن تحديدهما ، فإن وقت الفرق بين الفترتين التى يحتاجها طول الضوء يمكن حسابه . وبالتالى الوقت الذى يحتاجه الضوء ليعبر مسافة محددة بل وتحدد سرعة الضوء أيضاً .

ان اكتشاف « رومر » كان معروفاً « لنيوتن » ، الذى يمثل هنا دوراً مهماً ، ليس فقط يختص بالميكانيكا ولكن أيضاً فيما يتعلق بالمرئيات ونيوتن يشرح انتشار الضوء مثل اطلاق أجسام صغيرة جداً فى الفضاء . يمكنها أن تمر عبر الهواء وتخترقه لصغرها ، وقد استطاع أن يفهم ظواهر عديدة للمرئيات عن طريق هذه الطريقة المعروفة بنظرية اطلاق الضوء . هذه النظرية هيمنت

على التفسيرات الفيزيائية للعالم لمدة قرن ، وحتى فى ذلك الوقت كانت هناك النظرية الموجية التى حلت محل نظرية نيوتن فى وقت لاحق .

لقد استطاع عالم الرياضيات كريستيان هوجنز أن يعرف بدقة واضحة إمكانية شرح ظاهرة ارسال الضوء عن طريق الانتشار الموجى فقد قبلت هذه النظرية فى الدوائر العلمية بصعوبة شديدة لأنها أساساً تضع الكارت أمام الحصان (المقصود أنها تقدم الافتراض قبل الملاحظة العلمية) .

كان من المناسب أن توضح هذه الطريقة ببساطة ظاهرة تظهر فى التجارب الخاصة بالمرئيات ، ولكن حينما تأتى فى التجربة بالنسبة لحقائق يمكن ملاحظاتها بشأن انتشار الضوء ، فإنها تتضمن بعض الشروحات التى تقدمها . وبذلك تجعل ظاهرة انحناء وتداخل الضوء سهلة الفهم .

لكن انتشار الضوء فى خط مستقيم والذى نلمسه يومياً ، كخاصية مميزة (تظهر فى تكون الظل) ، يمكن تلمسها بطريقة معقدة ، تبرز فى حالة موجات ضوئية ترسل من اتجاهات مختلفة . وهذا هو السبب وراء أن العلم يجب أن يعتمد على نظرية اطلاق الضوء ليوضح من خلال نظرية نيوتن ، الظاهرة التى تظهر فى التجارب ، بصرف النظر عن الطريقة المعقدة التى يتم بها التوضيح . وتحت تأثير التجارب العديدة حين تفوز نظرية الضوء الموجى يظهر أن المبدأ ، وهو يثبت نفسه بنفسه ، هو أن الظواهر الطبيعية البسيطة فى الأساس ليست حقيقية . ويجب أن نقول اليوم على وجه العموم ، أن العلاقات البسيطة فى الطبيعة لا تظهر بشكل طبيعى ، ولكن يجب خلقها فى ظروف معملية وبتحكم صناعى ، وكذلك باستخدام عناصر فعالة . إن بساطة المراحل الطبيعية ، على النقيض من ذلك ، تبدو خيالية نتيجة للخلط بين العوامل المتداخلة . ومن ينظر من فوق جبل على السطح الأملس للبحر ، لا يمكن أن يفكر فى الحقيقة أن له شكل السطح الموجى المنحنى . ولكنه سوف يرى هذا السطح على نطاق واسع على أنه مسطح . نفس الشىء ، حين نرى الطبيعة يومياً ، فإننا نراها فى نطاق اطار واسع . تحتاج عيون حادة للعلماء

ليلاحظوا خلف الشكل المتداخل العوامل المتداخلة ويتعرفون فيها على الصورة الحقيقية للقوى الطبيعية .

إن تاريخ علم البصريات المتابع للطريقة النظامية دليل على المعتقدات الساذجة . فمن السهل أن نفهم أن الناس من خارج حقل العلوم الطبيعية ، الذين أنجزوا انجازات عظيمة فى مجالات أخرى من خلال تفكير مستقيم ، ومحاولة ايجاد علاقة مباشرة مع الطبيعة ، هؤلاء هاجموا علم البصريات كثيراً لكونه — فى اعتقادهم — مبنياً على منهج خاطىء ، أمثال هؤلاء جوته Goethe وأتباعه الذين لم يستطيعوا أن يدركوا أن العلوم الطبيعية قد وصلت لذروة نضجها عن طريق دراسات وبحوث للطبيعة وليست عن طريق التخمين أو الحقائق المطلقة . فهم كانوا يضعون علامات الاستفهام عن الطبيعة فى كل الوجود ، فظروف المعمل تهيىء لأى ظاهرة الحدوث مع تحكم فيها فيما لا يمكن حدوثه فى الطبيعة . وأخيراً ، فإن الأدلة الموجودة بالأحساس ليس حكماً سطحياً لمجموعة العضويات ، والتى لا يمكن أن تتضح دون معرفة أسباب دقيقة ومحددة .

أحد هؤلاء حاول تحليل نظرية طبيعة الألوان فى كلماته الخاصة فقال : « ان احتقار الانسان للمسببات والعلم لهو الحكمة الكبرى » .

لنترك الآن هذا الصراع حول نظرية الألوان جانباً ، ويبدو من الأوفق أن نتناول هذا الصراع من وجهة نظر سيكولوجية عنها من وجهة نظر العلوم الطبيعية .

فإن الحقائق التى جمعت فيما يختص بظاهرة التداخل ، ساعدت بقدر كبير على انتصار النظرية الموجية المرفوضة للعقل الذى تتحكم فيه المشاهدة الوقتية .

إن مضمون هذه النظرية يمكن وصفه بالطريقة التالية :

اضافة ضوئين ساطعين ينتج عنهما ظلام أو باستخدام المعادلة نجد :

ضوء + ضوء = ظلام

هذه الظاهرة لا يمكن ملاحظتها فى حياتنا اليومية ، فهى تحتاج للملاحظة الدقيقة بعد أعداد أشعة الضوء فإن فكرة اعتبار الضوء مادة ذات طبيعة لا يمكن استخدامها فى مثل هذه المعادلة ، لأن اضافة مادتين تؤدى إلى احداث مادة أكبر وليست أقل . (فكرة نيوتن فى شرح ظاهرة التداخل بافتراض أن اجراء الضوء بتركيبة خاصة ، ولكن هذه الفكرة فى الشرح ، لابد وأن تفترض شيئاً متوافقاً ، ولابد من رفضها بنظرية الضوء الموجى المحكمة) .

ومن ناحية أخرى ، فإن ظاهرة التداخل واضحة بالنسبة لنظرية الموجات . تخيل موجة تكونت من حبل متصل بصارى علم . نجد أن وصول قمة الموجة عند قمة الصارى سوف يجعل الصارى يهتز ويحدث اهتزاز مشابه فى الاتجاه المضاد عند وصول نهاية الموجة . ولو تقدمنا ببوصتين فى الحبل بهذه الطريقة ، فإن قمة احداهما مؤخرة سوف تصل قمة الصارى فى آن واحد ، ثم تلغى القمة والمؤخرة احداهما الأخرى ، ولن يحدث اهتزاز للصارى ، هذا تصوير للمعادلة السابقة . ونستطيع أن نسجلها بالشكل التالى :

دفع + دفع = سكون

المعادلة السابقة للضوء يمكن فهمها الآن جيداً إذ لو اعتبرنا الضوء كدفع لموجة خفيفة ذات اتجاهين كما هو فى شكل رقم (٣) حيث يوضح الرسم المتداخل بين هذه الموجات المتقاطعة .

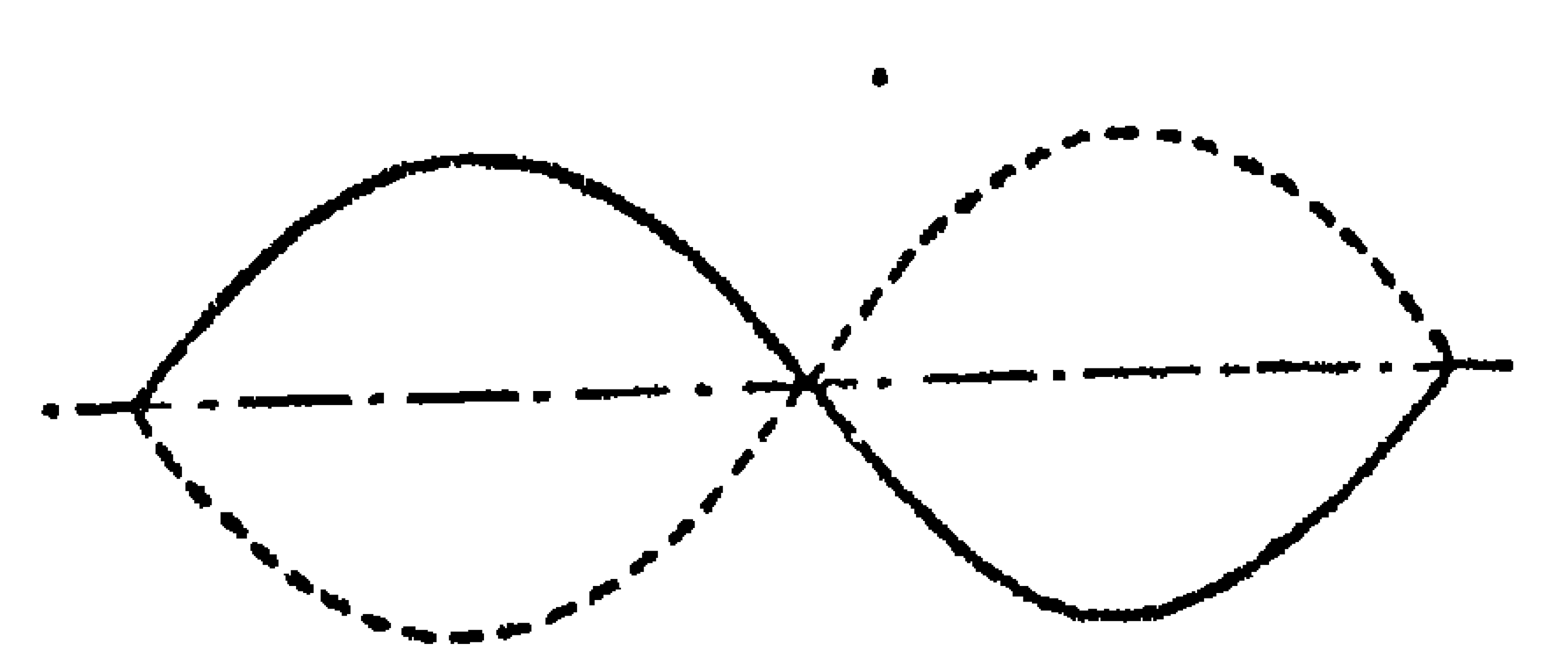


Fig. 3. The Phenomenon of Interference

فإن الفضل فى نشر نظرية موجات الضوء يرجع إلى الفيزيائى الفرنسى « فرينل » Fresnel الذى قام بفحص دقيق لمشكلة موجات الضوء . فقد توجد موجات طولية وأخرى عرضية ، من أمثلة النوع العرضى موجات الماء ،

والتى فيها كل ذرة تتحرك لأعلى وأسفل تتحرك فى الاتجاه الأمامى للموجة . ومن ناحية أخرى فى الموجات الطولية نجد الأجزاء تتحرك للخلف وللأمام فى اتجاه انتشار الموجة فيحدث نتيجة ذلك توسيع وتضييق ثم ينتشر للأمام . من أمثلة هذه الحالة الموجات الصوتية .

استطاع « فرينل » أن يحدد أن الضوء مرتبط بموجات عرضية وتناول فى دراسته ، ما يسمى باستقطاب الضوء ، وهى ظاهرة تخص الاتجاه العرضى للضوء .

لو أن للضوء طبيعة الموجات فهو بالتالى ليس مادة ولكن ظاهرة الحركة فى متوسط . فما هو اذن هذا المتوسط ؟ هذا هو السؤال المهم الخاص بالأثير والذى يجب أن نهتم به الآن . مؤسسو نظرية الموجات يعتقدون على وجه اليقين أن انتشار الضوء لابد وأن يتم على هيئة موجات لها متوسط . وهم حددوا هذا المتوسط التخيلى باسم الأثير ، وبذلك خلصوا أنفسهم من اتجاه قديم جداً للفلسفة الطبيعية . فى الواقع أنه فى جميع الظواهر الأخرى للموجات نجد مثل هذا المتوسط معروفاً بالتحديد وتظهر الحاجة إليه واضحة . فإن موجات الماء ، على سبيل المثال ، تتكون لأن الأجزاء المادية للماء تتراقص لأعلى وأسفل ، وهكذا بينما كل جزىء يقوم برقم معين للحركة يليه آخر مشابه ، وهنا حركة أفقية للموجة هذه الحركة توضح ظاهرة غير مادية لها خلفية مادية ، وبعيداً عن هذه الخلفية ، فإن حركة الموجة تبدو غير جديرة بالتفكير ، انها تبدو غير منفصلة عن وجود المادة ، وهذا الافتراض هو فى الواقع المصدر العميق لكل محاولات أكتشاف أثير الضوء .

على أى حال ، لو أن هناك متوسط مادى . فلابد وأن يظهر نفسه بطرق أخرى غير انتشار الضوء فليس علينا أن نشير إلى وجود (الماء) كمقاومة الحركة أو الشعور بالرطوبة ، التى نشعر بها مع الماء . طبعاً لا نتوقع ظهور مثل هذه الأشياء مع الأثير . لكن يجب أن يكون هناك تأثيرات تشير إلى وجوده . لابد أنه من الممكن اثبات حقيقته عن طريق أدق الأدوات الفيزيائيةوفى

الحقيقية ، يحتوى التاريخ على العديد من المحاولات لمعرفة الأثير وكشف طبيعته . ولكن نتائجها كانت سلبية .

ولا مجال هنا لشرح تفاصيل تلك المحاولات رغم أن واحدة منها سوف نناقشها فى الفصل التالى . يكفى ذكر أن الخاصية العرضية لموجات الضوء تسبب مشاكل عند ضعفها فيما لو كانت الموجات الطولية متوقعة فى مثل هذا المتوسط . ويظهر السؤال عن التيارات عبر الأثير . تماماً مثل الماء فإنه لابد أن تظهر فى الأثير حركة تيارات ، كما تظهر حركة موجات تنتج هذه التيارات عن وجود أشياء صلبة وأجسام دقيقة فى الدوامات . فإن ظهور مثل هذه التيارات يعتبر عائقاً فى انتشار الضوء . ولكن لم يلحظ أحد مثل هذا . فإن جميع تجارب البصريات مورست فى تتبع دليل لوجود الأثير ، ولكنها كانت دون جدوى . وحكمت النتائج كانت بعدم وجود أثير .

هكذا وجد علم الطبيعة نفسه فى موقف غريب ، لأن تجاربه ضد نظرية الأثير . فماذا يكون فى وصف هذه النظرية ؟ وفى التحليل فقط اعتبارات تنبيه تدفعنا لقبول الفكرة ، ولكنها اعتبارات ذات صفة مقنعة . لو أن هناك حركات موجية فلابد لها من متوسط وهذا السبب معارض للخبرة ، ولكن أن ينتصر أحد الرأيين ، فى مثل هذا الصراع ، لابد أن نضع الفكرة فى طور مراجعة دقيقة . هناك العديد من الأفكار تدعى صلاحية مطلقة تدعمها قوة مقنعة من النتائج المنطقية ، ولكن هذه الأفكار لم ترق لمستوى الفحص . فمفهوم الأثير لم يتأسس من خلال نتائج منطقية ، فقد كان له أسس مختلفة فى جميع الأفكار العامة بخصوص المعلومات عن الطبيعة : الحيز ، المادة ، الموجة أو الحركة ، لم تظهر من مجرد تأملات ، ولكن جاءت من خبرات الحياة اليومية . وليس أخطر من أن ننسى الأصل فى هذه الأشياء أو ندعى لها وجود ضرورى أو مشروط .

على العكس من ذلك تماماً ، يجب أن ندرك أننا فهمناها من خلال ملاحظات دقيقة للطبيعة وأنها لم تكن سوى موميات فى الكون ولم يكن أحد

ليقول أن هذه الأشياء تؤدى إلى فهم أفضل للطبيعة . ان حيز وجود المادة لهو فكرة تقديم أمر معقد جداً منطقية بسيطة .

من الأمور المعقدة لتراكم المادة والقوة هو حيز الماء على سبيل المثال : يجب أن نفكر فى نظرية الذرة التى توضح أن اضطراب الأجزاء المنفصلة تجذب بعضها البعض أو تدفع بعضها البعض . وفى بعض الأحيان تعتمد على بعضها بعض ، وفى أحيان أخر تكون مستقلة تماماً . وبصورة أصدق لحيز الماء هو دسن من الأجزاء أكثر من مادة موحدة . ربما نأخذ الأمر مسلماً به أن مفهوم الحيز الذى يميز هذه الصورة المعقدة سوف يفيد كل الأغراض العلمية . ولكن هل سيكون كذلك فى الوقت الذى تبدأ فيه أسس تطور الطبيعة فى الظهور ؟

يجب أن نسأل هذا السؤال بعمق لنضع بذرة الشك فى قلوبنا .لنعثر على إجابة ايجابية يجب أن نفترض ، على العكس من ذلك ، أن مفهوم الحيز المادى من الصعب تطبيقه على انتشار الضوء ، الذى يحدث سواء بين الفراغات فى الذرات أو على نطاق الفلك ، فهو مفهوم يناسب العلاقات الميكروسكوبية . إذا كان الحال كذلك فإن العلماء الطبيعيين ليس لهم أن يقلقوا فيما يخص الأثير ويواجهون امكانية عدم وجود أثير على الاطلاق . بشكل آخر ، ربما يكون هناك مراحل متعاقبة ضد نظرية الأثير للانتشار،ولكن ليس لها أى صلة بالمتوسط المادى .

لماذا لا نضع هذا المفهوم بشكل فيما يخص تجارب البصريات ؟

هل يجب علينا أن نحول الأفكار البسيطة بكل الوسائل إلى آفاق ميكروسكوبية ؟ هل لنا أن نكوّن ، بممارسة العلوم والتجربة ، مبادىء أساسية جديدة تتفق مع معلوماتنا الجديدة ؟

حين أخذت البصريات هذا الأسلوب كان ذلك نتيجة للتقدم الذى أحدثه نظام فيزيائى آخر حدث فى نفس الوقت هو نظرية الكهرباء . هنا تعرفنا على قوى ذات طبيعة مختلفة تماماً عن تلك القوى الميكانيكية المألوفة منذ زمن

بعيد. لقد أوضحت بحوص فراداى التجريبية، ليس فقط أن التيار الكهربائى يجرى فى الأسلاك، وإنما أيضاً أن هناك مجال مغناطيسى فى الهواء أو فى الفضاء وهى تحتوى فى الحقيقة على قوة وطاقة.

نحن نعتبر الخطوط الكهربية والمغناطيسية أمراً ثابتاً. وأن هذه الخطوط تعلن بذاتها عن وجود الكهرباء والمغناطيس اللذين يخترق الفضاء والأجسام.

ليس من الضرورى أن نعتبر هذه الأشياء كأشياء ذات مادة وحيز، مثل تلك الخاصة بالأثير فلو أنها أعتبرت ذات حيز فهى اذن ذات نوع مختلف تماماً عن الأجسام المادية كالماء والهواء فهى تفتقد قبل كل شيء خاصية هامة للمادة وهى أنه لا يمكن لجسمين أن يشغلا نفس المكان، أى هدم التداخل.

من ناحية أخرى، فإن مجالين كهربيين يمكن تمريرهما، دون أن يخترق احدهما الآخر لأنهما لا يشغلان إلى فراغ. لا يجب القول بأن نفس الشيء ينطبق على خلط السوائل أو الغازات فى الحقيقة، مثل هذا الخلط لا يجب أن يفهم على أنه تبديل جزئيات مكان بعضها، ولكن هو وضعها جنباً إلى جنب. فيشغل كل جزىء مساحة تبعاً لمبدأ التداخل. فإن مجالين كهربيين يمكن أن يشغلا مكاناً واحداً فى نفس الوقت، ليس كخلط ولكن معاً، كل أو جزء. وهما معاً يكونان مجالاً كهربياً جديداً لا يمكن فيه تمييز أى من المجالين الأولين.

لو اعتبرنا المجالات الكهربية ذات حيز، فان مفهوم الحيز لابد وأن يأخذ معنى جديداً تماماً. لهذا يرجع العودة للفكرة القديمة عن الحيز ونعتبر أن المجالات أمراً معاكساً للحيز.

يمكن القول أن دراسة الكهرباء قد علمتنا أدراك المادية بشكل مختلف عن الحيز، خصوصاً فيما يتعلق بالمجال، ولهذا المفهوم فاننا مدينون بالفوز فى مسألة نظرية «مادية الأثير الغير مرئية».

إن العالم الانجليزى «جيمس ماكسويل James Maxwell» هو الذى جعل

من البصريات ظاهرة كهربية . فقد أخذ تجارب « فاراداى » كنقطة بداية ، وبحث عن شكل رياضى للمبادىء الأساسية للكهرباء ووضعها فى شكل معادلات « ماكسويل » الشهيرة . وكانت النتيجة هى التسلسل ، أى ربط حالة الكهرباء والمغناطيسية كما تبدو فى ظاهرة الاستدلال . (التى تتكون من خلق مجال مغناطيسى عن طريق تيار كهربى أو العكس) . لاحظ « ماكسويل » أن التطور الرياضى لمبادئه الأساسية يؤدى إلى نتيجة أنه لابد وأن هناك تذبذب كهربى ينتشر فى الفضاء .

لقد فهم « ماكسويل » أن هذه الذبذبات لابد وأنها تشبه الضوء ، وأن الضوء بالتالى ليس الا ظاهرة الكترونية تشبه المجال الكهربى أو المغناطيسى الذى ينشأ إلى جوار تيار كهربى ، فإن المجال الكهربى يختلف عن التيار الكهربى فى المعدل العالى للتذبذب . (فإن ماكسويل هو نفسه) لم يعط دليلاً تجريبياً لنظريته الرياضية فالدليل كان لازال بحاجة الى كشف وسائل أكثر تطوراً للعرض . وقد أمكن التوصل لما يؤكد نظرية « ماكسويل » عن طريق خطين : الأول أمكن اظهار تأثير المجال الكهربى والمغناطيسى على مولدات الضوء أو الذرات اللامعة (معروف باسم تأثير شارك وسيمنز) وهكذا أمكن اثبات أن اطلاق الضوء هو ظاهرة الكترونية . من الناحية الأخرى ، وقبل أن تحدث هذه التجارب ، ظهر الاكتشاف العظيم لهيريش هرتس فقد نجح فى ايجاد ذبذبة كهربائية باستخدام جهاز الكترونى ، وهذه الذبذبة ذات تردد منخفض عن تردد الضوء ، وقد أظهرت هذه الذبذبة صفات خاصة بهلذا ، وكان من الممكن أن تنتشر عبر الفراغ مستقلة عن الأسلاك . هذه الذبذبة الالكترونية التى قدمها « هيرتس » فى معمله لم تكن سوى موجات الراديو ، التى استعملها ، أو التكنيك المنتشر فى التلجراف والراديو يتضمن اثبات كيف أن الكشف الذى تم لأسباب نظرية لفهم طبيعة الظاهرة يمكن أن ينتج نفع صناعى غير متوقع ، لم يفكر فيه المكتشف نفسه .

إن الموجات الالكترونية هى مجالات متقدمة لا يجب اعتبارها مرتبطة بوسط

مادى ، فهى موجات فيها الكهرباء تتراوح بين السالب والموجب ، وهى غير معتمدة على الارتفاع أو الانخفاض فى الجزئيات الصغيرة للمادة ، ولكن تتحرك مستقلة عبر الفراغ ، وهى بذلك لها خصائص الضوء التى اكتشفها علم البصريات خلال تجاربه .

نحن نستطيع اليوم القول بأن الضوء ببساطة قطار من الموجات الالكترونية ذات التردد العالى .

إن البحث عن هذه المعلومات العميقة أنتج لنا التعرف على ثراء غير متوقع فى تعدد الموجات الالكترونية . فنجحنا فى عمل موجات الكترونية ذات تردد أعلى بكثير من تردد موجات الضوء . هذه الموجات ذات القدرة الهائلة على الاختراق هى أشعة التى اكتشفها العالم رونتجن ، حيث باختبار النشاط الاشعاعى أثبت أنها ترسل أبعد تذبذب وتخترق أشعة جاما Gamma المتعلقة بأشعة

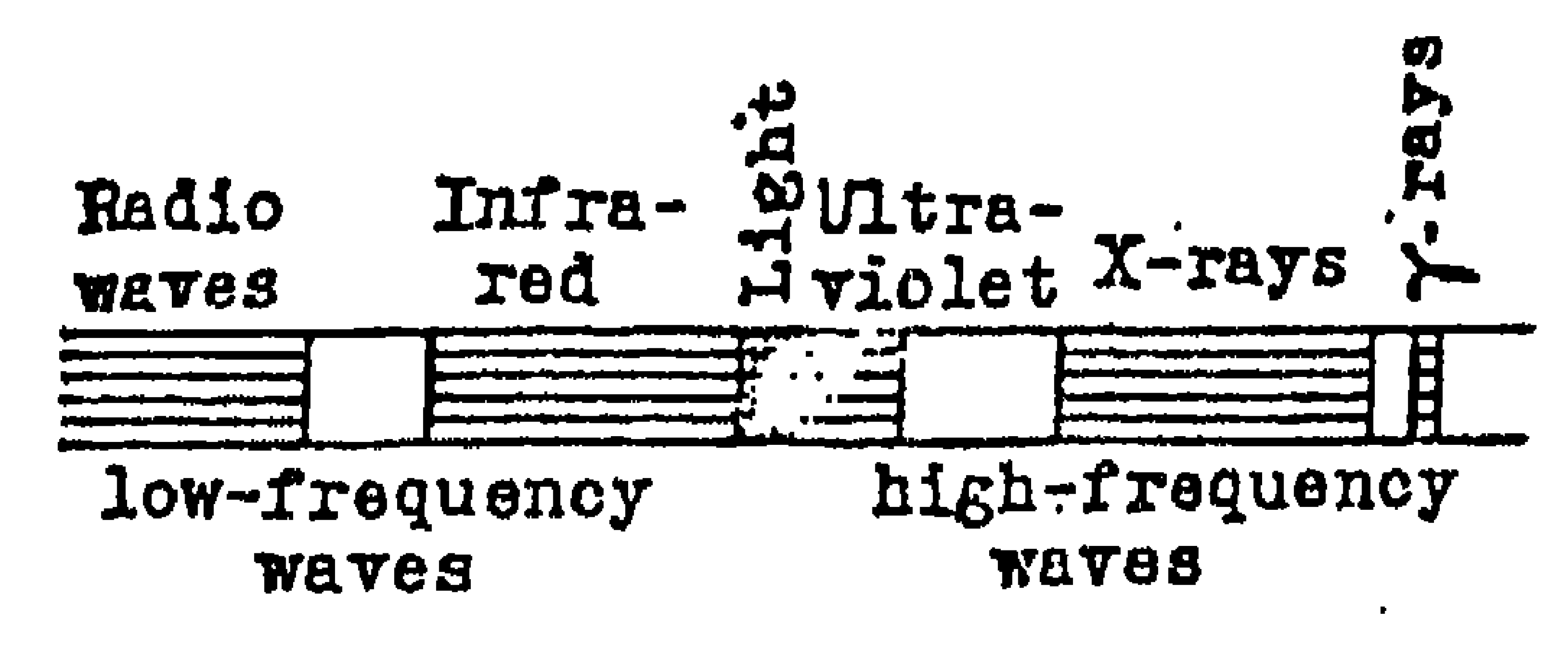


Fig. 4. The Total Spectrum

وأكثر من ذلك نجحنا أيضاً فى عبور الفجوة التى كانت موجودة من قبل بين أشعة الضوء وبين الموجات اللاسلكية . وحدث تقدم فى الناحيتين فمن ناحية موجات التلجراف اللاسلكى قصرت (التذبذب العالى يعنى موجات أقصر) ، ومن ناحية أخرى الموجات الطويلة التى لم تعد لها امكانية رؤيتها بالعين المجردة عزلت بين أشعة الضوء . فإن مجموع هذه الموجات المسمى الطيف Spectrum يظهر حسب طول موجاته فى شكل رقم (٤) .

وبذلك يعتبر الضوء جزءاً صغيراً من مجموع من الموجات الالكترونية فإن

هناك موجات الكترونية خاصة بكل التذبذبات، من صفر إلى أى امتداد و تبلغ أعلى ذبذبة التريليون (فى أشعة جاما) لكن العين البشرية فقط لامتداد التذبذبات تسميه الضوء . فالعين لا تتقبل الموجات ذات التذبذبات الأعلى ، ونحتاج لجهاز معقد لنتعرف عليها، وحدود العين لمجال محدد من الذبذبة له أساسه فى تاريخ تطور الانسان ، فان الأشعة التى ترسلها الشمس تظهر للعين على أنها ضوء . هذه الأشعة بغزارة على سطح الأرض وتسمح بتبادل الحركة بين الانسان والأشياء التي نسميها الابصار . فليس من غير الممكن أن تضبط أعيننا على موجات أخرى مثل موجات التلجراف اللاسلكية مثلاً ، ولكن تكويننا البيولوجى يمنع ذلك ، نتيجة لذلك ، نزود أنفسنا بأدوات فيزيائية ، ونعدل نشاط الموجات ذات التذبذب الأعلى أو الأقل من موجات الضوء ، وأخيراً نشعر بتأثيراتها التى تسجلها احساساتنا كظواهر مرئية أو سمعية .

وحين نلقى نظرة على كل مشهد من الموجات الالكترونية كما هى واضحة فى صورة رقم٤ ، ونلاحظ أن عصبة صغيرة من الأشعة نشعر بها كضوء ، يظهر لنا كما لو كان العالم مغطى بستارة ذات فتحات صغيرة تسمح لنا أن ننظر منها لنعرف جزءاً صغيراً من ثروة الطبيعة .

الخلاصة : يود المرء أن يتساءل : ماذا عن الموجات الصوتية ؟ الحقيقة أن الموجات الصوتية لا تدخل هنا فى الاعتبار على الاطلاق برغم أنها موجات ، فليس لها مكان فى صورة رقم ٤ لأنها ليست موجات الكترونية ، بل هى ذبذبات مطاطة لها وسط ولها خصائص موجات الضوء . أثيرها هو الهواء ، لا يمكن اعتبارها مجالات ، وبالتالى فهى ذبذبات فى حيز ، وليست مختلفة تماماً عن موجات الماء . فالأصوات اذن لا يمكن فصلها عن الوسط ، فصوت الجرس الالكترونى تصنع فى الفراغ . أما أماكن ما بين الذرات فلا يوجد صوت ، اذن لا يوجد هنا مفهوم للمادة . فإن موجات الصوت كظاهرة دقيقة جداً ، تعطينا صورة كيف يمكن للضوء أن يحس ، لأن الضوء لصفته الالكترونية ، ينبع من أساس أعمق من المادة التى تنبع فيها الموجات الجسمية .

الفصل الثالث
نظرية النسبية الخاصة

تنتهى بنا الحقائق والاعتبارات التى جاءت فى الفصل السابق إلى أن الضوء هو عملية كهربائية أكثر منه عملية ميكانيكية ، ذلك أنه لا علاقة له بالموجات المائية أو الموجات الصوتية . إنه أكثر اتصالاً بالموجات اللاسلكية التى تنبعث فى الفضاء عبر الهوائيات وتؤلف فى الحال تغيرات فى المجال الكهربى والمغناطيسى . وعلى هذا فإن مشكلة وجود الأثير ـــ التى أثيرت من قبل ـــ لم يرد عليها بعد بالنفى . وكل ما ثبت هو أن الأثير ليس جوهراً (أو مبدأ) بالمعنى الميكانيكى للكلمة إذا قورنت بما نطلق عليه المادة . ويظل السؤال قائماً : أليس من الممكن أن الظواهر الكهربية يمكن أيضاً أن تقوم على أساس من جوهر ؟ أليس من الممكن وجود جوهر خاص للمجالات الكهربية مرتبط بها كارتباط الماء بالموجات المائية ؟ ثم ألا تصبح الظواهر الكهربية مدركة فقط عندما يفترض وجود الأثير ؟

إن مسألة وجود مثل هذا الأثير الكهربى لا يمكن أن تنتهى دون اضافات وتعليقات أكثر من ذلك فإن الاثير قد يكون موجوداً ، ولكن يجب أن ندرك أن هذا الأفتراض ينطوى على أساس ضعيف للغاية . إنه يقوم على الاعتقاد الذى لم يتم التحقق منه بعد ، ألا وهو أن الظواهر التى تحدث داخل مسام المادة لا تختلف كثيراً عن تلك التى تحدث فى التركيبات المادية الخام التى نستطيع أن ندركها . إن هذه الفكرة لا يبررها أى شيء نعرفه ، لأن تقدم العلم الطبيعى فى الواقع أظهر فى شتى مجالاته أن الطبيعة تختلف فى تكوينها العضوى الداخلى عما تبدو به نحو احساساتنا الأولى . ولنتذكر على سبيل المثال الاكتشافات التى تمت فى علم الأحياء والتى أفادتنا بأن كل الموجودات العضوية الحية تتألف من عدد لا حصر له من الخلايا التى تؤلف حياة موحدة ، لكنها توجد مشتركة . ولا أحد يستطيع أن يقول إن هذا الافتراض يدعمه برهان الرؤية . لكنه افتراض صحيح . ولا ينبغى للمرء أن يندهش من أن علم الطبيعة الذى ينظر بصورة أعمق وأشمل من علم الأحياء ، قد جاء بناء على اكتشافات كبيرة . ويبدو أن التغيرات الواسعة فى أفكارنا حول العالم الطبيعى هى تأكيد للحقيقة

التى تقول إن متطلبات الدقة العملية أصبحت جوهرية للغاية . فطالما كان الناس مقتنعين بحجم الدقة التى يقدمها الإدراك الحسى ، فإنهم يستطيعون الائتلاف مع تفسير بسيط آخر للطبيعة ، أو يستطيعون السماح بمثل هذا التفسير . ولكن بمجرد تقديم القياسات الدقيقة التى تصبح ممكنة بفضل فن التجريب الحديث تظهر التناقضات فى النظريات القائمة . ونتيجة لذلك فإن النظريات المختصة يجب أن تصبح مسئولة عن جعل الحقائق تتفق مع التفسيرات . وهكذا فإن التطور الهائل فى مجال الطبيعة النظرية إبان القرن الماضى كان بتأثير انجازات الطبيعة التجريبية . ولا ينبغى أن ننسى أن علماء الطبيعة لم يذهبوا إلى تأكيداتهم الجريئة لمجرد سعادتهم أو نشوتهم فى التأمل .

إن الذى أدى بهم إلى ذلك هو حاجة ملحة إلى جعل الحقائق والنظريات تتفق مع الاكتشافات التى أعيد اكتشافها ثانية عن طريق الأجهزةالفيزيائية المتطورة وتفسرها .

وفى الواقع فإن نظرية « اينشتين » فى النسبية، وهى أعظم انجازات العلم الطبيعى الحديث ، تنبع عن قرب شديد الحقائق التجريبية ، وهذا موطن القوة فيها . قد تندهش ازاء عظمة تركيبها الفكرى أو ما تتميز به أفكارها من عمق شديد ، ولكن هذا وحده لا يضمن لهذه النظرية تلك المكانة الراسخة فى عالم الطبيعيات . وما يضمن لها تلك المكانة هو أنها قادرة على شرح الحقائق التجريبية وقادرة على التنبؤ بالأحداث ، وأن تأكيد هذه الأحداث هو الذى يجعل النظرية عظيمة .

بنى « اينشتين » نظريته على ثقة منقطعة النظير فى دقة فن التجريب . وكان عدد من التجارب الطبيعية موضع الاعتبار فى ذاك الوقت الذى كان يهدف إلى تحديد حالة حركة هذا الأثير الضوئى الافتراضى . وحتى نكون أكثر دقة ، فعندما نفترض أن الأثير يملأ فضاء العالم بأسره ، فمعنى هذا أن الأرض كان يجب أن تتحرك حوله . إن هدف هذه التجارب هو قياس حركة الأرض بالنسبة للأثير . ونتيجة كل هذه التجارب كانت مع ذلك سالبة ، ولم يكن فى

المستطاع حسم مسألة وجود الأثير . وفى هذه النقطة أصبحت الثقة فى نتائج التجارب ثقة هائلة : وكان « اينشتين » واثقاً من أن التجارب قد تكون لها نتائج ايجابية تجعل الأثير موجوداً بالفعل . وهذه النتيجة تنطوى على مخاطرة فقط طالما إنها افترضت الثقة غير المشروطة ودقة الاكتشافات التجريبية .

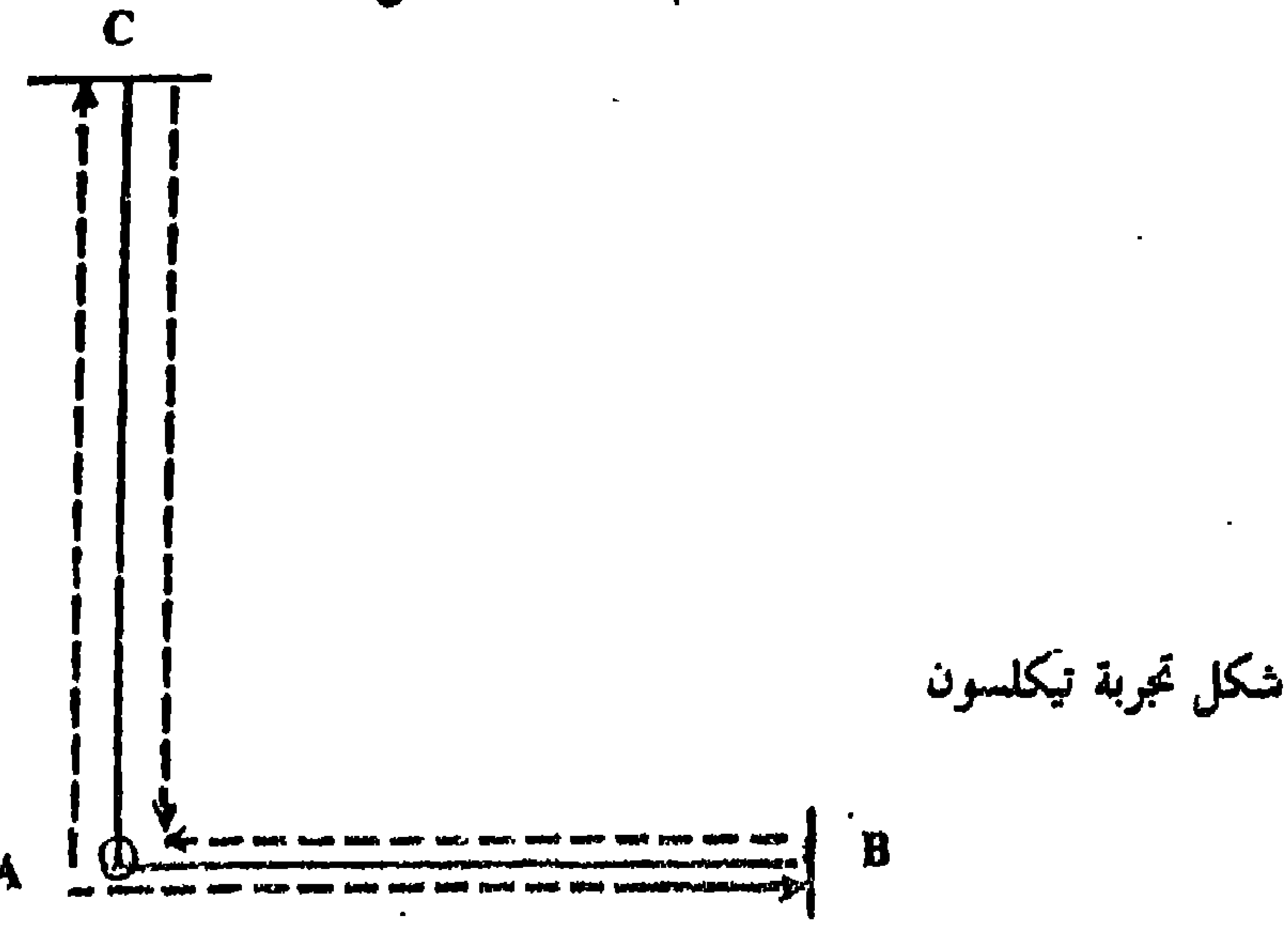
وينبغى أن نصف هنا على وجه أكثر دقة صفة التفكير الذى أدى إلى البحث الحاسم لوجود الأثير . إذا ذهب المرء إلى أنه ليس هناك أثير ، فقد يفهم أن هذه قضية تتطلب توضيحاً تصورياً (ادراكياً) . إنها تعنى فقط تأكيداً محدداً حول صفات أو خواص الضوء ، أى أن الضوء ليس له خواص من ذلك النوع الذى يميز الموجات الجافة التى ضرب عليها المثل بالموجات المائية والموجات الهوائية . وبين خواص الجوهر — بالمعنى القديم للكلمة — فإن وضع خاصية أمر لا يمكن اختراقه (غير قابل للاختراق) ، ولقد وضحنا أن هذه الخاصية لا تنطبق على الضوء كمجال كهربى . وهناك صفة ثانية للجوهر وهى تحديد حالة الحركة . ويجب أن نوضح هذه النقطة الآن .

عندما نلاحظ موجة مائية فإننا بالضرورة ننسب إليها نسبة معينة من السرعة والموجة تأخذ فترة من الوقت لتنتقل من السفينة إلى الشاطىء . هذه السرعة تحددها طبيعة الماء ، بالسرعة التى تجرى بها كل جزئية من الماء عبر الأخرى ، وكذلك بالقوة التى يكون عليها تماسك الماء الداخلى . وفوق ذلك فمن الواضح أن الوقت الذى تتطلبه موجة لتقطع مساحة معينة يعتمد على عامل آخر . لنفترض إنها من منخفض والماء ينحسر عن الأرض ، عندئذ فمن الواضح أن سرعة انتقال الماء سوف تطول ، لأن الموجة سوف تتأخر . إن سرعة الموجة تقاس عادة وفقاً لسطح الماء . ومع ذلك فإذا كان سطح هذا الماء كله فى حركة ، عندئذ فإن هذه الحركة يجب أن تضاف الى ، أو تجرد من ، سرعة الموجة وفقاً لاتجاهها . فإن السرعة التى تتطلبها الموجة لتصل إلى الشاطىء تتألف من سرعتين ، سرعة الموجة وسرعة سطح الموجة . وتبعاً لذلك فإن السرعة المركبة سوف تختلف بالاتجاه . ففى حالة المد المنخفض ،

فإن سرعة الموجة فى اتجاه الشاطىء سوف تتأخر ، بينما سرعة الموجة التى تتحرك من السفينة إلى جزيرة ما تقع فى البحر سوف تزداد . وهكذا فحسب سطح الماء تكون سرعة الموجة متعادلة فى جميع الاتجاهات . وهذا هو ما يفهم بتحديد حالة الحركة . وإذا طبقنا المقاييس على الماء فسوف تظهر سرعة متعادلة فى كل الاتجاهات . وتبعاً لذلك فإن حالة حركة الماء هى الحالة المميزة للحركة التى تتلقى ضوئها السرعة المسحوبة للموجة قيمتها الطبيعية .

لقيت مثل هذه الأفكار ترحيباً بالنسبة للأثير والعلاقات الفلكية . فعندما ينتقل الضوء فى فضاء العالم ، فإن الأثير يجب أن يملأه ككتلة هائلة من الماء الذى تسبح فيه الكواكب مثل الجزر . وطالما أن الكواكب تتحرك حول الشمس فإنها لابد أن تتميز بحالة من الحركة تختلف عن حالة حركة الأثير . وهكذا نصل إلى افتراض أن سرعة الضوء ، كما قيست على كوكب مثل الأرض ، لابد وأن تختلف بالاتجاه ببساطة لأن الأثير يفهم على أنه أساس الموجات الضوئية ومن خلاله وحده يمكن لسرعة الضوء أن تتلقى قيمتها الطبيعية . .وفى الثمانينات من القرن الماضى خرج العالم الطبيعى الأمريكى « ميكلسون » Michelson بتجربته المشهورة (التى كررنا الحديث عنها مرات ومرات) التى صممها لاختبار خط الاستدلال (البرهان) .

ان ترتيب تجربة « ميكلسون » تقدم فى هذا الشكل :



شكل تجربة تيكلسون

الجهاز يتألف من قضيبين معدنين أفقيين AB و AC . فى A يوجد مصدر الضوء الذى تنبعث منه الأشعة إلى B و C بينما ينعكسان على مرآة ويتقابلان مرة ثانية عند A . والاسهم المرسومة تشير إلى هذا الممر . والسؤال هو : إذا تركت الأشعةA فى آن واحد،فهل تعود إليه فى آن واحد أيضاً؟هذه ستكون هى الحالة التى يبقى فيها الجهاز وقضبانه المعنية بلا حركة فى الأثير ، لأنه فى ذلك الوقت تكون سرعة الضوء متعادلة القوة فى كلا الأتجاهين AB و AC . ولكن الجهاز يقوم على الأرض ولذلك فهو يشترك فى حركة الأرض عبر الأثير . وينتج عن ذلك أن سرعة الضوء لابد أن تختلف فى كلا الاتجاهين . وحساب بسيط يوضح أنه ـــ عندما تتحرك الأرض عبر الأثير من اتجاه AB ـــ فان شعاع A-B-A لابد أن يعود إلى نقطة البداية متأخر قليلاً عن شعاع A-C-A و« ميكلسون » تأكد أن فى هذا الوقت يمكن اثبات تأخير عودة هذا الشعاع ، وبعد هذا كله كانت وسائله ومناهجه دقيقة بصورة كافية وقد استخدم أفضل الأدوات والأجهزة البصرية. إن الوصول المتأخر للشعاع أمكن اثباته بوسائل التداخل ، بفعل ظهور الظلال التى تنتج عن التقاء التلال والوديان الصغيرة . (راجع الفصل الثانى) . ولكن النتيجة المذهلة كانت عدم ظهور ظلال على الاطلاق : فلم يكن هناك تأخير فى الشعاع .

هذه النتيجة غير المتوقعة حيرت العلم طويلاً . وكان أول من حاول تفسير الظاهرة هو الهولندى هـ . أ . لورنتز H.A. Lorentz حيث افترض أن القضيب AB أصبح أقصر نتيجة لحركته عبر الأثير ، ولذلك فإن الممر A-B-A أصبح أقصر وعاد الشعاع تماماً بنفس سرعة الشعاع الآخر . وليس هناك افتراض على هذا التفسير إلا أنه مر مرور الكرام على حقيقة أن مشكلة الأثير تكتسب عودة غريبة للغاية . باختصار ، فإن الافتراض يدل على أن الأثير ينشر قوى التقصير على الأجسام المتحركة بهذه الصورة حتى لا يمكن الاستدلال على الاختلافات فى سرعة الضوء المرتبطة بالحركة . بمعنى آخر ، من المتوقع أن نثق ونصدق بوجود الأثير ونفترض أيضاً أن برهان وجود الأثير مستحيل . وفى ضوء هذه

الاكتشافات يبدو من المقنع أن نتوقف عن الاعتقاد فى الأثير : لأن ما يقاوم ويتحدى كل محاولة للبرهان ليس له وجود عند عالم الطبيعة .

لقد قبل « اينشتين » البديل الأخير ، والقوة المقنعة فى مذهبه تنصب أساساً فى استنباطاته المنطقية الحرة . ونستطيع الآن أن نصيغ نظرته مما تقدم :

لا يوجد أثير بمعنى وجود وسيط للضوء ، وليس هناك اطار خاص للاستدلال تكون فيه سرعة الضوء متعادلة القوة فى كل الاتجاهات . بل أن هذه هى الحالة فى كل اطار متحرك . وعندما تقاس سرعة الضوء على كوكب الأرض المتحرك فان سرعة الضوء تكون متطابقة فى سائر الاتجاهات . وعندما تقاس هذه السرعة على كوكب متحرك بصورة مختلفة أو على جسم باق فى نظامه الفردى (وهذه الأجسام لا توجد كما نعلم) فإن سرعة الضوء هذه تظل واحدة فى كل الاتجاهات .

ومذهب « اينشتين » يدل على تحول محدد فى تاريخ مشكلة الأثير ويحول من ثم الاكتشافات أو النتائج السالبة إلى مبدأ ايجابى . ولا يمكن القول بأن هذا المذهب يفسر الاكتشافات أو النتائج السالبة ، بل يتخذ الطريق الآخر ويؤكد أنه لا يوجد تفسير خاص يمكن توقع وجوده هنا على الاطلاق . وهذا الاجراء يمكن مقارنته باجراء تقديم مبدأ حياته أو حفظ الطاقة . وطالما أن مجهودات المخترعين التى لا حصر لها من أجل خلق حركة مستمرة قد أثبتت انها مجهودات مثمرة ، فإن مبدأ الطاقة هذا يقوم من أجل وصف الحقيقة أكثر من تفسيرها . والعمل الفذ فى هذا الشأن مستحيل .

ويتطلب مذهب « اينشتين » — كما قدم هو — ملحقاً خاصاً يرتبط بنظرية المعرفة . وذلك لأن الاقتناع بأن سرعة الضوء بالنسبة لأى اطار متحرك تكون متعادلة فى كل الاتجاهات يأخذنا إلى جانب هام وراء تجربة « ميكلسون » Michelson .

فى هذه التجربة لم تقاس سرعة الضوء فى اتجاه فردى واحد ، بل تقاس

كمجموع الوقت اللازم لشعاع الضوء الذى ينتقل إلى هناك ثم يعود مرة ثانية . ومع ذلك فكيف نعرف أن سرعة الضوء ليست أكبر أو أصغر فى اتجاه AB منها فى اتجاه BA ويختفى الاختلاف نتيجة لذلك عند قياس الزمن الكلى عند A ؟ أليس من الممكن أن يكون مذهب « اينشتين » فى أن سرعة الضوء تكون متماثلة فى كلا الاتجاهين افتراضاً خاطئاً ؟

إن الاجابة عن هذه الأسئلة يؤدى إلى مذهب مشهور فى نسبية التزامن . ويجب أن نشرح هذا بشيء من التفصيل حيث يمثل أهم أفكار « اينشتين » .

يميز « اينشتين » بين التزامن فى نفس البقعة وتزامن الأحداث (الوقائع) التى تنفصل بفعل المساحة . ويصبح هذا التمييز واضحاً بصفة خاصة عندما نأخذ فى الاعتبار أبعاداً فلكية . فالملاحظ الفلكى يكون مرتبطاً ومتصلاً بمكانة الفضائى ، لكنه يتلقى رسائل أو اشارات من نقاط بعيدة ، وهو قادر على أن يسجل على الفور فقط تزامن وصولها إلى مكانه . وعلى الرغم من أن هذا المكان ليس نقطة رياضية على أى حال ، إلا أنه يمكن اعتباره بلا أبعاد إذا قورن بالمساحات التى يقطعها الضوء فى ثوان قليلة والتى أشارت إليها نظرية النسبية . إن وصول اشارة ما يمكن تحديده بأنه حدوث (التقاء) أو نقطة الحدث ، أى كظاهرة لا أبعاد لها مكانياً وزمانياً . ومثل هذا التزامن عند نقطة مماثلة يمكن تناوله دون تغيير عن الطبيعيات القديمة . والمشكلة المنطقية التى تنشأ فيما وراء مجال الادراك الحسى هى : كيف يصل الملاحظ إلى النظام الزمنى للأحداث (للوقائع) التى تنفصل بفعل المكان ؟

أنسب الاجابات هى أنه يصل إلى ذلك عن طريق الأدوات الطبيعية فالملاحظ يقيس المسافة الزمنية ويقسمها بسرعة الاشارة ، وبذلك يحصل على الزمن الذى قطعت فيه المسافة . إذا وصل شعاع ضوء من كوكب الشعرى إلى الأرض فى نفس الوقت الذى يصل فيه شعاع من الشمس إليها ، عندئذ يكون من الممكن تقدير الزمن الذى انبعث فيه كل شعاع بأن نأخذ فى الاعتبار أبعاد مسافات النجوم وسرعة الضوء .

هذا صحيح بطبيعة الحال . ولكن يجب على المرء أن يعرف بداية سرعة الضوء . كيف يمكن قياس هذه السرعة ؟

هناك طريقة أساسية واحدة لقياس السرعة الفردية التى سوف نمثلها تخطيطياً على النحو التالى . فلنتصور وجود ساعتين موضوعتين فى نقطتين مختلفتين (شكل ٦) ، واشارة أعطيت عند النقطة الأولى لتكن :

1200 1205

شكل رقم (٦)

(شكل خاص لقياس سرعة الضوء)

عند الساعة الثانية عشرة . وأنها تصل إلى النقطة الثانية فى خمس دقائق بعد الثانية عشرة . فهى بهذا استغرقت ... دقائق لتغطى المسافة التى نتقدم لقياسها ، وعندما يحسم ذلك ويحدد فان السرعة موضع البحث توجد بالقسمة . وهذه هى الطريقة الوحيدة الممكنة لقياس السرعة .

ولكن هل هذا صحيح ؟ ألم تقاس سرعة الضوء عند « ميكلسون » بطريقة مختلفة تماماً ؟ أرسل « ميكلسون » شعاعاً من الضوء إلى نقطة بعيده ورتب لانعكاسه وعودته . وكان عليه أن يقيس فقط الزمن عند نقطة البداية دون النظر فى اللحظة التى يصل فيها الشعاع إلى المرآة . ومع ذلك فقد وجد فقط مجرد المقدار الكلى للفترات اللازمة لقطع الممر (الطريق) إلى ومن . ولم يستطع تحديد ما يهمنا أكثر ، ألا وهو سرعة الاتجاه الفردى . وان اقتناعنا اذن صحيح .

اننا نلاحظ أن قياسنا لسرعة الضوء نتج عنها صعوبة ما . لكى نقدر هذه السرعة فاننا نحتاج إلى ساعتين عند نقطتين مختلفتين . ولكى نجعل الفوارق (الاختلافات) فى الزمن الذى نقرأه من الساعتين ذات قيمة ، يجب

أن نضبط الأخيرة . ومعنى هذا أنه من الضرورى أن نتأكد ما إذا كانت الساعتان توضحان نفس الأشكال فى نفس الوقت أم لا . ولكننا رتبنا لقياس السرعة وحدها من أجل ايجاد وسائل للتأكد من التزامن عند نقاط محددة وموضوعة بعيداً عن بعضها البعض . ونجد أنفسنا فى دائرة مفرغة . ولكى نحدد تزامن أحداث (وقائع) بعيدة ، علينا أن نعرف السرعة ، ولكى نقيس السرعة علينا أن نكون قادرين على الحكم على تزامن الأحداث (الوقائع) المنفصلة بفعل المسافة .

وقد أوضح « اينشتين » طريقة أخرى خارج هذه الدائرة المنطقية : وهى أن تزامن الأحداث (الوقائع) البعيدة لا يمكن التحقق منه ، بل يمكن فقط تحديده . اننا نستطيع أن نحدده بأى طريقة دون ارتكاب خطأ . ولذلك فعندما نقوم بالقياسات فان النتائج سوف تتضمن نفس التزامن الذى نتج بفعل التحديد ، وهذه العملية لا يمكن أن تؤدى أبداً إلى أى تناقض .

هذه هى نظرية « اينشتين » الشهيرة عن نسبية التزامن . انها تتطلب تغييراً حاسماً فى وجهات نظرنا ولكن ليس من الأرجح أنها تبقى أو تظل فى الأزمنة القادمة غريبة أو محيرة كما تبدو للوهلة الأولى . وحقيقة الأمر أن أى انسان يفهم الفكرة فهما تاماً سوف يجد أنها فكرة ذكية وطبيعية شأنها شأن الفكرة القديمة عن الزمن ، وسوف يكتشف علاوة على ذلك أن المذهب الجديد جاهز بالرد والاجابة عن أسئلة معينة أهملتها النظرية القديمة أو لم تتعرض لها . وفى النهاية يجد أنه من الصعوبة بمكان أن يفكر على نفس خطوط وجهة النظر القديمة . فالتجربة شبيهة بشىء يحدث مراراً عندما يذهب انسان ما إلى بلد آخر : إنه يجد فى البدء أنه غير قادر على ضبط نفسه مع اللغة الجديدة ، ثم ينسى هذا الأمر ، حتى يكتشف ذات يوم عند عودته إلى وطنه الأصل أن اللغة الجديدة هى فى الواقع أكثر تآلفاً معه من لغة وطنه الأصلى .

إن مغزى هذا الحل لمشكلة التزامن يكمن فى أنه يجعل جدال « اينشتين » معقولاً حول عدم وجود أى اطار خاص للاستدلال فيما يتعلق بعملية الضوء

ومن ثم عدم وجود (لا وجود) ، لأنه وبصرف النظر عن هذه الفكرة الجديدة فإن مبدأ « اينشتين » يتضمن تناقضاً منطقياً .

إن هذا المبدأ يجب الآن أن يصاغ بطريقة أكثر دقة . إن سرعة الضوء تكون متماثلة فى جميع الاتجاهات فى اطار متحرك متسق بشرط أن يكون التزامن محدداً تحديداً متطابقاً .

هذه القضية الاضافية تجعل جدال اينشتين واضحاً . فنحن نلاحظ أن التخلى عن مفهوم الجوهر الماكروسكوبى (مع مبدأ الحالة الخاصة للحركة) مرتبط بنسبة التزامن بطريقة عجيبة . وهكذا يصبح المغزى الأساسى من وراء الأبحاث فى نظرية المعرفة واضحاً للطبيعيين (لعلماء الطبيعة) . ولكن نظرية « اينشتين » فى التزامن لها افتراض مسبق بدونه لا يمكن أن تبقى :إنهاليست سوى افتراض بأنه لا توجد سرعة أكبر من سرعة الضوء يمكن أن تحدث فى الطبيعة . وينبغى أن نفكر بعناية فى السبب الذى يجعل هذا الافتراض هاماً . ولهذا الغرض سوف نشرح نظرية « اينشتين » على النحو التالى . اشارة ضوئية ترسل من A فى الثانية عشرة (أنظر شكل ٧) .

1210 — 1208 — 1205 — 1202 — 1200 — B — A

شكل رقم (٧)
شكل يوضح مسار الاشارة الضوئية

هذه الاشارة تنعكس ثم تعود إلى A فى عشر دقائق بعد الثانية عشرة . فما هو زمن وصول الاشارة إلى B ، وفقاً « لاينشتين » لا يمكن تحديد ذلك بالتجارب ، فقط نستطيع أن نقيم هذا الأمر بالتحديد (التعريف) . فمثلاً نستطيع أن نسجله عند حدوثه فى الثانية عشرة وخمس دقائق ، ولكن نستطيع أن نفكر فيه أيضاً عند حدوثه فى الثانية عشرة ودقيقتين أو الثانية عشرة وثمان

دقائق . ولكن ليس بامكاننا أن نعلن أن الوصول إلى B يحدث أو يقع فى الحادية عشرة وتسع وخمسين دقيقة ، لأنه عندئذ قد يكون الضوء قد وصل إلى B مبكراً عما بدأ منها . ونحن نعلم أنه لا توجد أى احداث طبيعية يمكن ردها للوراء بالنسبة للزمن .

وهذا هو التحديد الوحيد ، أى عدد داخل امتداد الزمن بين الثانية عشرة والثانية عشرة وعشر دقائق يمكن اختياره .

لذلك لنحدد الزمن لوصول شعاع ضوئى فى الثانية عشرة ودقيقتين . هل يمكن ألا يؤدى ذلك إلى تناقض ؟ ستكون هناك دائماً امكانية للتناقض إذا كانت هناك اشارات أسرع من الضوء فى الوجود . ودعنا نفترض أن هناك اشارة تتطلب ثلاث دقائق أقل من الضوء لتقطع المسافة AB . ولترسل هذه الاشارة من نقطة A فى ذات الوقت مع الشعاع الضوئى . نجد أنه عندما يصل الشعاع الضوئى إلى B فى الثانية عشرة ودقيقتين فإن الاشارة الأخرى سوف تصل ، وفقاً لافتراضنا ، فى الثانية عشرة ودقيقتين ناقص ثلاث دقائق ، أى تصل فى الحادية عشرة وتسعة وخمسين دقيقة . والآن ، ترسل الاشارتان من A فى الثانية عشرة ، يتضح من ذلك أن الاشارة الجديدة تصل إلى B أسرع مما تبدأ من A ، ان تحديد التزامن يؤدى بنا إلى التناقض ، وذلك لمجرد اننا نقبل امكانية وجود اشارات تنتقل بأسرع من الضوء .

التناقض فى نظرية « اينشتين » عن التزامن أمر مستحيل ، فقط إذا لم تكن هناك اشارات تنتقل بأسرع من الضوء . وهذا جدل آخر لاينشتين . وفى الواقع فإن هذه أهم نقاط الجدل فى نظريته الخاصة عن النسبية .

وعلينا أن نسلم بطبيعة الحال بأنه لا يوجد عالم طبيعى حتى الآن اكتشف أو وجود اشارات تنتقل بأسرع من الضوء . ولكن هل نحن على يقين من أن مثل هذه الاشارات لا توجد ؟ هناك بلا شك أشياء كثيرة فى وقتنا الحاضر لا نعلم [illegible] عما نصل إلى هذه الأشياء فى المستقبل . من الذى كان

يفكر منذ مئة وخمسين عاماً أن الإنسان يستطيع أن يسافر من نيويورك إلى بوسطن في خمس ساعات ، وهي مسافة تتطلب في هذا الزمن الماضي على الأقل عدة أيام ؟ ومن الذي كان يصدق عندئذ أن يتجاوز الناس شهرياً عبر هذه المسافة مثلما يحدث الآن كل يوم باستخدام الطيران ؟ لقد يسفر العلم الطبيعي عن مفاجآت هائلة تنتظرنا ، وقد تكشف عملية ولادة الانتقال بالقطارات [illegible] تقارب سرعة الضوء مثل القطار الأول لاستيفنسون Stephenson إذا ما قورن بالقطار الاكسبريس الحديث

إن من يستبعد مثل عالم الطبيعة المسلم بإمكانية تحقيق أي حلم تكنولوجي في المستقبل ، لا يمكن أن يقبل هذا الحلم . وإذا كان لشاعر مدينة فاضلة (مثالي) أن يصور يوم بداية الحركة المرورية المنتظمة إلى المريخ أو يصور يوم التقدم الحضاري الخطير عندما انقذت البشرية الأرض من قيود (سلاسل) الشمس فأصبحت باردة ووجهت الكوكب نحو نجوم أخرى ، فلن يكون لعالم الطبيعة اعتراض لأسباب فيزيقية على هذه الأفكار . ولكن أن يقال إن أصغر الأفعال ينتشر أسرع من الضوء فسوف يعلق على ذلك قائلاً « مستحيل » .

وإذ أنه حريص عندما ينكر الامكانات ، فانه يدرك أن هناك أنواعاً من الأنكار ينبغي أن ينطق بتأكيدها ، ما لم يكن علمه التام قد أوشك أن يفقد معناه . وهناك ممتنعات وأشياء يمكن إنكارها تعبر عن قانون الطبيعة . و[illegible] استيفاءها .

إن الأشياء الممتنعة يمكن إنكارها شائعة في الطبيعيات . والآن لا [illegible] بسهولة أن يبين أن كل قانون للطبيعة يحمل في داخله شيئاً ينبغي إنكاره . فالقانون بقاء أو حفظ الطاقة على سبيل المثال يمكن التعبير عنه بالآتي : لن توجد أبداً عملية ، حتى على مدى مائة ألف عام ، يزداد فيها مقدار الطاقة بصرف النظر عن تأثير أو مؤثر خارجي . وهكذا فإن القانون الوضعي الإيجابي الخاص ببقاء أو حفظ الطاقة [illegible] بالعكس .

فالقانون السالب الخاص بتحديد سرعة الضوء يمكن صياغته ليوضح جوهره أو لبه الايجابى . ونحن نريد الآن أن نظهر هذا الجوهر .

فى المقام الأول : يقدم « اينشتين » داخل الصورة جدلاً غريباً حول طاقة الأجسام المتحركة . فكل جسم فى حركة يحمل فى داخله قدراً من الطاقة الذى يزيد مع سرعة الجسم . والمطلوب أن تبدأ هذه الطاقة الحركة ، ووفقاً لاينشتين فإن محتوى الطاقة فى الجسم المتحرك ينمو (يزداد) بسرعة متزايدة أسرع مما تفترضه النظرية القديمة . وحتى نرفع جسماً إلى سرعة الضوء يجب توافر قدراً لا متناهياً (غير محدود) من الطاقة . ومن ثم فمن غير الممكن لجسم أن يتحرك بأسرع من الضوء ، وفى الواقع لا يوجد شيء يمكن أن يصل إلى سرعة الضوء .

ثانياً : فإن قانون تحديد سرعة الضوء يقوم على معرفة أن الضوء لا يؤلف ظاهرة طبيعية فى ذاته بل يمثل حالة خاصة من تحول النشاط الكهربى بصفة عامة . وفى الفصل السابق كانت أمامنا الفرصة لنرى أن الضوء ظاهرة كهربائية وأن الموجات الضوئية تمثل فقط قسماً من المجال الهائل للموجات الكهربائية . ان ما قاله « اينشتين » بالنسبة للضوء ينسحب من ثم على كل الموجات الكهربائية التى يكون الضوء فيها مجرد مثل لها ولكن وفقاً لمعرفتنا بالتركيب الداخلى لكل الجواهر ، فان هناك طريقتين أساسيتين لتحول القوة من جسم إلى جسم : الجاذبية والموجة الكهربائية . وكل دليل آخر على القوة مؤلف منهما . وإذا تحركا مع سرعة الضوء ، كما يقول « اينشتين » ، فقد يحدث تباطؤ داخل ذرات الجسم ، عندما تجرى القوة فى مسار متعرج ، ولكن لا يمكن أن تحدث زيادة فى السرعة . وقانون اينشتين عن الصفة المحددة لسرعة الضوء لا يعنى إذن سوى صياغة للحقيقة التالية : إن الضوء يمثل صورة أصلية واحدة لتحول الفعل ، أما الصورة الأخرى فهى تمثل حد متعادل السرعة .

ومع اضافة هذه الفكرة وحدها تصبح نظرية « اينشتين » عن نسبية التزامن نظرية معقولة . وهى تؤدى أيضاً إلى توضيح مفهوم التزامن نفسه . وماذا نعنى عندما نتحدث عن التزامن ؟ لنأخذ مثالاً على ذلك ، أقول مثلاً إننى أريد أن أزور صديق لى فى « ساوثمبتون » Southampton ، واننى رحلت فى سفينة بخارية من نيويورك فى الثانية عشر . ويحدث الآن أن صديقى يغادر ساوثمبتون إلى نيويورك تماماً فى الوقت نفسه . لا أحد منا يعرف شيئاً عن رحيل الآخر . وفى اللحظة الأخيرة فقط أرسلنا برقيتين كل إلى الآخر . وسوف نفكر الآن فى تأخير قليل للبرقية بسبب كتابتها وتنفيذها، وسوف نفترض أن البرقية تصل فى بضع دقائق قليلة . مثل هذه البرقية اذن هى أسرع اشارة عملية على الرغم من أن التأخير يجعلها بطيئة قليلاً عن سرعة الضوء . فإذا بدأ إرسال البرقيتين فى آن واحد ، فإن كل برقية سوف تصل إلى مكانها متأخرة قليلاً أى بعد رحيل السفينة . وإذا لم يغادر صديقى إلا بعد دقائق قليلة ، فان برقيتى تصل إليه تنبهه فى « ساوثمبتون » . والعكس صحيح إذا غادرت انا متأخراً قليلاً ، لتلقيت البرقية وتجنبت رحلة بلا فائدة . والحقيقة بأن كلاً منا قد غادر مكانه فى آن واحد يعنى ببساطة أنه من غير الممكن لبرقيتى أن تصل إليه أو لبرقيته أن تصل إلىّ . ونجد أن التزامن يعنى استبعاد العلاقة العلية فعندما يقع حدثان P و Q فى آن واحد ، لا يوجد أى أثر ممكن لـ P على Q ولا أثر لـ Q على P .

وإذا كان هذا هو تعريف مفهوم التزامن ، فإن تحديد التزامن يصبح واضحاً فى الحال . وعندما تستغرق برقيتى عدة دقائق لتصل إلى « ساوثمبتون » يكون صديقى قد غادر مكانه فى الثانية عشرة ودقيقة دون أن يتسلم البرقية . وعلى أساس هذه السرعة التلغرافية فان الحدثين (الرحلتين) يطلق عليهما أنهما متزامنان .

والآن فانه أصبح واضحاً أن سرعة الضوء أكبر . إن الاشارة الضوئية ، أو ما يشبه ذلك — الموجات اللاسلكية بعيداً عن كتابة وتسليم البرقية — تتطلب فقط جزءاً من الثانية لقطع المسافة عبر المحيط . ولكن الضوء لا يسافر

(لا ينتقل) بسرعة لا محدودة (لا متناهية) ، فبسبب سرعة الضوء العظيمة فان الفترة الزمنية التى يكون فيها التزامن تعسفياً (بديهياً) تكون قصيرة . ولكنها ليست عدما . ونفهم الآن كيف أن نسبية التزامن مرتبطة بالسمة المحددة لسرعة الضوء . وحيث أن هناك حداً متناهياً لكل السرعات التى تخترق العقل ، فان من الضرورى استبعاد العلاقة العلية الممكنة بين الحدثين البعيدين لوقت قصير . ان تعسف التزامن ينصب أساساً داخل هذا الوقت القصير .

ان المكان الفريد الذى يحتله الضوء فى نظرية النسبية يمكن التعبير عنه أيضاً بأسلوب مختلف بينما فى نظرية « اينشتين » الأصلية فى النسبية يساعد الضوء فقط على تحديد التزامن ، وقد أصبح واضحاً فى الرؤية الأخيرة للنظرية أن الضوء قد يستخدم لكل القياسات الخاصة بالزمن وكذلك فهى تحديد قياس الزمن بل حتى فى قياس المكان . وقد يؤلف البعض هندسة الضوء التى يحدد فيها الضوء مقارنة المسافات المكانية (الفضائية) . وهكذا يأتى الضوء ليعمل كشبكة منظمة للطبيعيات والتى تجمع داخل خيوط أشعتها كل الأحداث (الوقائع) فى العالم وتضعها فى نظام عددى .

وبهذه الفكرة يستطيع المرء أن يقدم محتوى نظرية « اينشتين » فى المكان والزمان على النحو التالى : الساعات والعصى التى تقيس الياردات والأدوات المادية لقياس المكان والزمان لها فقط وظيفة فرعية . فهى تضبط ذاتها مع هندسة الضوء وتطيع كل القوانين التى يؤسسها الضوء لمقارنة المقادير أو الأحجام . ويتذكر الانسان الابرة المغناطيسية وهى تضبط نفسها مع مجال القوى المغناطيسية ، ولكنها لا تختار اتجاهها بصورة مستقلة . والساعات والياردات أيضاً ليس لها ضخامة أو عظمة مستقلة بل أنها تضبط نفسها مع المجال المترى للمكان ، وتركيبها يوضح نفسه ويكشف عنها بشكل واضح جداً فى أشعة الضوء .

وبناء على ما تقدم فان هذه تبدو حجة مقنعة ، ولكنها تؤدى الى نتيجة هامة

تتعلق بسلوك أو عمل الساعات ووفقاً لهذه النتيجة يكون من الممكن أن يبين أن الساعات المتحركة تعمل بصورة مختلفة عن تلك الساعات الهادئة ، والحركة تنشر تأثيراً متأخراً على الساعات إذا انتقلت ساعة من مكان إلى مكان وعادت أخيراً إلى مكانها الأصلى ، فانها أبطأ من الساعة التى ظلت بلا حركة فى نفس مكانها الواحد . وعالم الطبيعة اذن يحسب تأثير الحركة وتبعاً لذلك يبدأ تشغيل الساعة بطريقة صحيحة . ولكن نظرية النسبية تضع ما هو أكثر من ذلك بكثير فهى تذهب إلى أن أى تشغيل آلى بصرف النظر عن نوعه يكشف عن تأخير مشابه . وإذا كان أحد الملاحظين يقوم برحلة مع الساعة ويحاول أن يفحص التأخير فى الساعة بوسائل قياس معينة ،فإنه لن يقدر على ملاحظة أى اختلاف ، طالما أن الساعة تعمل دون أى تغير حسبما تبين وسائله . وحتى إذا بحث وفحص فى عمليات عضويته الخاصة وقدر الفترة بين الوجبتين على أساس فرصة الجوع أو قاس الفترة الزمنية الخاصة بالنوم العادى بفعل المنبه أو الساعة ، فانه سيظل غير قادر على تمييز أى فارق أو اختلاف من التجارب السابقة .

وإذا فهم ذلك فهماً دقيقاً ، فان علينا أن ندرك أن كل عمليات الجسم الانسانى تدخل جذورها فى التغيرات النفسية والكيمائية وتقوم فى النهاية على حركة الذرات والالكترونات . ولكن عمليات هذه الجزئيات أو العناصر (الأساسية) سوف تنخفض بنفس النسبة مثل الساعة ، وبناء على ذلك فإن مشاعر الانسان وادراكاته سوف تكون متطابقة تماماً مع الساعة .

إن هذه الأفكار تؤدى بنظرية النسبية إلى تأكيد أنه لا يوجد من يستطيع أن يجبر على التعرف مستقلة طالما أنها تقارن بأشياء أخرى تشترك فى حركتها . وقد يعلن المرء ببساطة أن لا شيء قد تغير أثناء الحركة . وإذ نشاهد فقط الأشياء أو الموضوعات الخاصة بحالة أخرى من الحركة فاننا نستطيع أن نتحدث عن تأخير ساعتنا

وبتطبيق هذا على العلاقات الفلكية ، أى على المسافات الكبيرة والسرعات الهائلة . فإن هذه الاعتبارات تؤدى إلى نتائج ملموسة ومميزة دعنا نفترض أن سفينة الفضاء التى تحدثنا عنها سابقاً إلى كوكب المريخ قد اخترعت بالفعل وأن أحد التوأمين يتعهد بالرحلة الطويلة بينما يبقى الآخر على الأرض تمر سنوات ، والتوأم الموجود فى وطنه يصبح عجوزاً . عندئذ وفى أحد الأيام تعود سفينة الفضاء بأخيه الذى يبدو أكبر قليلاً أو أكبر بسنوات قليلة عن يوم رحيله . وطبعاً لم يلحظ الأخ أثناء رحلته حقيقة شبابه المصون ، حيث إن كل رفاقه الذين سافروا معه ظلوا فى نفس العمر مثله ، وكل الساعات على متن السفينة قد مرت عليهم تحولات عديدة ومضاعفة تزداد بزيادة سنوات عمر المسافرين وأيامهم ومن الناحية الذاتية لم يعش المسافر سوى سنوات قليلة بينما عاش الأشخاص الباقون على الأرض سنوات طويلة إذا بقى المسافر على الأرض ، فإن فترة حياته كلها من نقطة البداية سوف لا تظهر له أطول من فترة حياة الناس الآخرين ولكنه الآن يكون قادراً على الوصول إلى عمر متقدم أكثر من أخيه وجيله من الناس سوف يكونوا قادرين على بلوغ ذلك . هذا المثال تسبب فى مفاجأة وفجر نزاعاً ومناقشة لنظرية النسبية ، ولكن من غير الممكن أن ننكر أنه نشأ بالضرورة عن نظرية النسبية وأن كل الحقائق الطبيعية تتحدث عن صحة الجدال أن نظرية النسبية لن تعلن أى شيء عن امكانية السفر عبر الفضاء . وذلك لسبب بسيط وهو أن التنبؤات بالنسبة للتقدم التكنولوجى تكون خارج نطاق هذه النظرية ولكن قد تؤكد النظرية أنه إذا عهد بهذه الرحلة إلى المسافرين فانهم يرتبطون بعمر أبطىء كما شرحنا فى المثال السابق . إن الصورة الافتراضية للتأكيد صحيحة ، رغم إنها اجبارية ، طالما أن الحقائق المتاحة تعضد نظرية النسبية ونحن لا يمكن أن نقبل الاعتراض بأن الحالة غير قابلة للتصور . بل على العكس تماماً فان كل شيء موصوف فيها قابل تماماً للتصور

وما دمنا نتعهد بتوضيح النزاعات التى نشأت حول نظرية النسبية بحالات من الأمثلة الفلكية العليا ، فلنضيف ملاحظة أخرى عن الاتصال السماوى. إن قضيتنا بأن لا اشارة يمكن أن تسافر بأسرع من الضوء تؤدى إلى نتائج محزنة أو مؤسفة ، فى هذه العلاقة أن شعاع الضوء يتطلب حوالى ٨ دقائق ليغطى أو يقطع المسافة التى تفصل الأرض عن الشمس ويتطلب ١٦ دقيقة ليقطع المسافة ذهاباً وإياباً . إن بعد مسافة كوكب المريخ تكون أكثر من ذلك أحياناً وأقل أحياناً أخرى، ولذلك فان الأشكال تختلف . دعنا نتخذ مكانة متوسطة لكوكب المريخ الذى تتطابق مسافته تقريباً مع مسافة الشمس ، فى هذه الحالة فان الموجات الكهربائية التى تنقل محادثة تليفونية سوف تستغرق ١٦ دقيقة للرحلة . وهذا يعني أنه عند مكالمة أحد سكان كوكب المريخ يجب علينا أن ننتظر حوالى ربع ساعة للرد على مكالمتنا . هذا البطىء فى الاتصال لن يكون باعثاً على السرور حيث سيتكرر حدوث مثل هذا التأخير فى الرد عند الاتصال بالمريخ والموقف أسوأ حالاً بالنسبة للنجوم الثابتة وكواكبها . والحقيقة أن أقرب نجم ثابت يبعد عنا حوالى ٨ سنوات ضوئية . وعلينا أن ننتظر عند سماعة التليفون عند الاتصال حوالى ستة عشر (١٦) عاماً لنتلقى الرد . أن مناظر الحركة السماوية تقارن بالنظر (الانتقال) . وليس هناك حد لامكانات التوصل والوصول إلى كواكب بعيدة . وقد يظن المرء أن السفر أو الانتقال إلى نجم بعيد قد يستغرق وقتاً طويلاً جداً لدرجة أن فترة حياة المسافر لن تكفى لاستكمال الرحلة . وهذه حجة غير مثمرة بسبب أن سرعة السفر تؤجل تقدم السن . وكلما كانت سرعة السفر قريبة من سرعة الضوء كلما شعر المسافر أن عمره أقل وأبطىء ذلك أن رحلة عبر مسافة مائة سنة ضوئية تعنى له ــ بصفة ذاتية ــ سنتين من عمره .

هذه الاستدلالات من نظرية النسبية رائعة بلا شك . وأنه لأمر غريب أن يؤدى الأسلوب العلمى الدقيق فى التفكير إلى أفكار مثل التى توجد فى الحكايات الخرافية التى تأتى من الشرق . ان الحقيقة تبدو خصبة التنوع حتى

أكثر من خيال الشعراء . وتبدو نظرية النسبية جذابة جداً لهؤلاء الذين يقلبون صفحات العلم الطبيعي كما لو كانت صفحات كتاب مصور ، ان دخول التأملات ليست مسئولة عن القبول العلمي والتأثير العلمي للنظرية . ان نجاح النظرية يكمن أكثر فى القوة الاقناعية التى تمارسها حتى على أصحاب التفكير الحاد والمتميز ، علاوة على قدرتها الطاغية على شرح الحقائق التجريبية داخل اطار نظرية موحدة وواحدة . وفى الفصول التالية سوف نحاول أن نبين ثمار هذا المنهج من مناهج التفكير بالنسبة للمشكلات الأساسية الأخرى .

الفصل الثاني

قصيدة المرأة

إن فكرة نسبية الحركة التى أعطت نظرية « اينشتين » أسمها تردنا إلى الوراء حيث جذور وأصل هذه النظرية ، وهو ما أشرنا إليه فى الفصل الأول .

إن وجهة نظر « كوبرنيكوس » عن العالم وتماسكه من خلال « ميكانيكية نيوتن » أصبحت نقطة البداية للأفكار التى بدأت تجنى ثمارها فقط بعد أن ربطهما « اينشتين » بنقده لمشكلة الأثير . ولكى نقدر على فهم هذا يجب أن نفحص شيئاً ما قريباً من « مشكلة نسبية الحركة » .

إن فكرة نسبية الحركة لها قوة جبرية غريبة ، وتفهم جيداً . ومن لا يأتلف مع ظاهرة تجريبية تحدث بصورة شائعة فى عربات « السكة الحديد » : قطار أحد الأشخاص يظل واقفاً بينما قطار فى رصيف مقابل يبدأ فى الحركة — ولكن الانطباع مضاد ، حتى يبدأ قطار الأول فى الحركة . وبعد برهة يلاحظ المرء فعلاً الوهم . ولكن الفكرة قد تحدث فى صلتها بهذه التجربة : كما أنا محق فى أن أسمى ما رأيته بوضوح وهماً . هل كان وهماً ؟ ألم يكن حقيقة ؟ ولكى أتأكد فاننى قد لاحظت فى الوقت أن الأشياء المحيطة بى مثلاً مستودع أو مخزن ظلت واقفة واننى لذلك كنت بلا حركة بالنسبة لهذه البيئة المحيطة بى . ولكن ماذا عنها إذا ضمنت هذه البيئة داخل تصورى ؟ ألا يمكن أن أعلن اذن أن القطار الآخر كان مازال واقفاً وأن قطارى مع المخزن أو المستودع ، بل حتى الأرض كلها ، كانت تتحرك أمامه ؟ ألا يمكن أن أعلن هذا بقدر مساو من الحق والصدق ؟

إن هذه الفكرة تكون مفهومة فى وقت ما ومن غير الممكن التخلص منها . ومن السهل أن نرى أن الحجم الكبير للمخزن أو المستودع — كمواجه لحجم القطار المتحرك لا يمكن أن يعمل كدحض (تفنيد) : ان الاختلاف فى الحجم أمر خارج الموضوع تماماً . إذا وضع جسمان فى مكان خال (خلاء) ، جسم كبير وجسم صغير ، إذا تحركا نحو كل منهما الآخر فهل للانسان أن يقول إن الجسم الكبير يظل واقفاً بينما يتحرك الجسم الصغير ؟ لن يؤدى ذلك إلى معنى . هذه الحركة التى لا يمكن أن تعتمد على حجم تكون واضحة من

الموقف الذى تكون فيه الأجسام متساوية الحجم ، وهنا فإن الحجم لا يمكن أن يحدد أى جسم يكون ثابتاً .

والاعتبار التالى صادق . افترض أن الجسم A ثابت وأن الجسم B يتحرك نحوه ، فإن الحركة يتم التعرف عليها عن طريق تصغير المسافة المتبادلة ، لذلك فليست هناك طريقة للاستنتاج من الظواهر الملاحظة بالنسبة لتلك الخاصة بالأجسام المتحركة . ويستطع المرء أن يقول إن الأجسام تتحرك نحو بعضها البعض ، وحركتها نسبية . وهذه هي الاجابة على ما تؤدى إليه عملية الاستدلال هذه : ليست هناك حركة حقيقية ، ولا توجد حركة مطلقة بل فقط توجد حركة نسبية .

لقد تحدثنا عن هذه الفكرة مراراً ، ومن الطريف أن ينشأ شجار ونزاع حول نسبية الحركة . وهو نزاع أو شجار لم يكن أقل من نظرية « اينشتين » فى أيامنا هذه .

لقد حدث فى زمن « نيوتن ولييبنتز » ، أن الحركة المطلقة قابلت حرباً من « ليبنتز » ونوقشت هذه المسائل وقد دافع « ليبنتز » فى هذه المعركة عن نسبية الحركة ضد رجل اللاهوت كلارك Clark صديق « نيوتن » وقدم الحجج للدفاع عن نظريته وهذه الحجج مازالت تلعب حتى يومنا هذا دوراً فى مناقشة النسبية . ولقد أكد على أن كل الظواهر واحدة بصرف النظر عما إذا كان الانسان ينسب الحركة إلى أحد الجسمين أو إلى الآخر . والمشكلة — كما أضاف — لا تختلف حتى فى حالة ألف جسم ، والملائكة أنفسهم لا يستطيعون تقرير ذلك على أساس الظواهر الملاحظة — فأى جسم يكون هو فى الحقيقة فى حركة . ومن « ليبنتز » يأتى أيضاً استدلال مفهوم النسبية عن طريق المبدأ المشهور « تماثل الأشياء غير القابلة للتمييز » فالشيء الغير قابل للتميز لا يكون مختلفاً ولذلك فالحديث مستمر عن الحركة المطلقة .

وعلى الرغم من ذلك فان الأسئلة التى وضعها « نيوتن » فى شأن ومن أجل

الحركة المطلقة لا يمكن أن يدحضها « ليبنتز » . فقد أدرك نيوتن أن كل البراهين المألوفة لنسبية الحركة يمكن تبريرها حركياً فقط أى أنه مادامت الحركة تعتبر تعبيراً فى المكان فإن الظاهرة المرئية لا تتطلب أى أسباب .

لكن فى اللحظة التى يبدأ فيها الانسان فى البحث عن القوى الايجابية للحركة فان الصورة تتغير تماماً ، ولذلك يشير « نيوتن » إلى أن نسبية الحركة لا يمكن بلوغها أو تحقيقها ديناميكياً ، أى من منطلق القوى . ولكى نفهم ذلك علينا أن نقدم اجمالاً لنظرية « نيوتن » .

بادىء ذى بدء يفرق نيوتن بين الحركة المتسقة والحركة المسرعة . إن الجسم المتحرك بذاته فى مكان خال لن تتغير حركته ، انه سوف يتحرك فى سرعة واحدة وممر مباشر أو مستقيم . وبالنسبة لقانون القصور الذاتى الذى وضعه « جاليليو » من قبل فقد أضاف إليه « نيوتن » هذه الفكرة : هناك قوة مسئولة عن كل تغيير فى الحركة ، وبالعكس فان حضور القوى يدل على أن الجسم ليس فى اتساق بل فى حركة سريعة .

ونفس البرهان ينسحب على الحركة البطيئة (المتأخرة) وقد جرت العادة لذلك فى العلم أن نعتبر الحركة المتأخرة (البطيئة) حركة سريعة سلبياً (بالسالب) . وهذا أسلوب مناسب للتعبير عنها . أما الحركة الدائرية تعتبر أيضاً حركة سريعة رغم أن سرعتها قد تظل تماماً مثل قوتها ، انها تغير باستمرار اتجاهها وتبعاً لذلك لا يمكن تصنيفها كحركة متسقة .

إن الحركة الدائرية تقدم تفسيراً أو توضيحاً ممتازاً لفكرة « نيوتن » عن الحركة المطلقة ، ولنأخذ على ذلك مثالاً . تخيل أرجوحة محاطة بمبنى دائرى مشابه لما نراه فى المعارض . عندما نجلس فيه فاننا نحصل فى الحال على انطباع بأننا مازلنا واقفين ، نحن والأرجوحة بينما المبنى يتحرك حولنا . وإذا نسينا للحظة مارأيناه قبل الدخول من أن المبنى يقف ثابتاً على الأرض وأن الأرجوحة

مزودة بالعجلات ، فهل أمامنا من طريقة ـــ عندما نجلس فى الأرجوحة ـــ نحدد بها ما إذا كان هذا المبنى أو الأرجوحة هى التى تتحرك ؟

وفى الواقع لدينا طريقة لتحديد ذلك . لأننا نشعر ونحن جالسين فى الأرجوحة بدفعة خارجية تسببها ما تسمى بالقوة الدافعة (القوة المركزية) . هذه القوة تدفعنا ضد (فى مواجهة) الدرابزين وإذا كانت الأرجوحة مازالت واقفة والمبنى يتحرك ، عندئذ فإن المنظر بالنسبة للعيون سيكون واحداً ، ولكن الدفعة نحو الدرابزين ، القوة الدافعة (المركزية) لن توجد (لن تكون هناك) . وندرك حالة حقيقية من الراحة بفعل غياب القوة الدافعة . ان ظهورها أو اختفاءها يلعب دوراً حاسماً فى مسألة الحركة المطلقة .

هذه هى فكرة « نيوتن » التى شرحها بمثال مشابه (مثال الدلو المستدير) . وقد أعلن أننا نستطيع تحديد حتى اتجاه الدوران . فلنفرض أن هناك أرجوحة أصغر متصلة بتلك الأرجوحة الكبيرة تقريباً عن مركزها . ولكنها تدور فى الاتجاه المضاد . اننا نتسلق الآن الأرجوحة الكبيرة تقريباً عند مركزها ، ولكنها تدور فى الاتجاه المضاد . اننا نتسلق الآن الأرجوحة الصغيرة ونبحث : هل الدفعة الخارجية (أى القوة الدافعة) تكون أقوى أم أضعف منها فى الأرجوحة الكبيرة ؟ إذا كانت هذه القوة الدافعة أقوى ، عندئذ دوران الأرجوحة الصغيرة يكون أسرع منه فى الأرجوحة الكبيرة .

ويكون اتجاه الدوران واحد . ولكن إذا كانت القوة الدافعة أضعف ، عندئذ فان الأرجوحة الصغيرة تدور للخلف ، فى الاتجاه المضاد لحركة دوران الأرجوحة الكبيرة .

وينبغى علينا أن نندهش لهذه الدقة المنطقية التى بنى بها هذا العالم الطبيعى مذهبه فى الحركة المطلقة والمكان المطلق . وفى السطور التالية نقتبس من كتابه الأساسى الفقرات التى تتعلق بنظريته وتوضحها : فقد كتب فى مؤلفه « المبادىء الرياضية للفلسفة الطبيعية » :

— « المكان المطلق فى طبيعته الخاصة — دون النظر فى أى شىء خارجى — يظل واحد أو غير قابل للحركة » .

— « المكان النسبى هو مقياس هذا المكان أو هو جزء متحرك منه ، تحدده حواسنا بموقعه بالنسبة للأجسام ، وغالباً يقال للمكان الذى بلا حركة » .

— « الحركة المطلقة هى « نقل » الجسم من مكان ما مطلق إلى مكان آخر ، والحركة النسبية هى نقل الجسم من مكان ما نسبى إلى مكان آخر ... » .

— « لذلك فبدلاً من المكان المطلق والحركة المطلقة نستخدم المكان النسبى والحركة النسبية ... فى المناقشة الفلسفية علينا أن نتجرد من حواسنا . فربما لا يوجد جسم ثابت تشير إليه أماكن وحركات الأجسام الأخرى » .

— « ان المؤثرات التى تميز الحركة المطلقة عن الحركة النسبية هى قوى التراجع (الانحسار) من محور الحركة الدائرية . لأنه لا توجد فى حركة دائرية حقيقية ومطلقة ، وتكون أكبر أو أصغر وفقاً لمقدار الحركة » .

أما الكلمات التى يختتم بها مقدمته حول هذا العمل الأساسى فانها توضح وتؤكد كيف يشعر نيوتن بتأكيده للحركة المطلقة أى :

« كيف لنا أن نحصل على الحركات الحقيقية من عللها ومؤثراتها واختلافاتها الواضحة ، والعكس ، كيف نستمد العلل والمؤثرات من الحركات الحقيقية أو الحركات الواضحة ، كل هذا سوف نتعرض لشرحه بالتفصيل فى المقالة التالية » .

هذه الكلمات التى كتبها نيوتن تبرهن بقوة على التناقض الذى قد ينشأ عن

الأهمية الموضوعية لاكتشاف ما والدلالة الموضوعية التى تنسب إلى الاكتشاف من قِبَل مؤلفه . بينما أصبح العمل الطبيعى للديناميكا عند نيوتن جزءاً ثابتاً وراسخاً فى العلم ، فإن تفسير « نيوتن » الفلسفى لعمله قد ظل وقتاً محدداً . وعلى الرغم من ذلك فإن التطور المستمر لنظريته فى الحركة المطلقة والمكان المطلق قد ساهمت فى الرؤى العميقة التى تسفر عنها أيامنا هذه . لأن الاندفاع نحو بعض حجج نيوتن قد أدى إلى الايضاح النهائى لفكرة النسبية العامة التى كان يجب أن تمتد من الحركيات Kinematics النسبية والديناميكيات Dynamics النسبية . وتقريباً كان يجب أن تمر مائتان سنة قبل وجود رفض حقيقى أو تفنيد حقيقى لفكرة « نيوتن » . ففى الثمانينات من القرن الماضى ، وجد « ارنست ماخ » فى انتقاده لكتاب نيوتن الحجة المضادة . وإذا عدنا إلى مثالنا السابق عن الأرجوحة ، كانت هذه فكرة « ماخ » عنها : لقد أغفل « نيوتن » أن حالة الأرجوحة الثابتة وحالة المبنى فى دوران لا تمثل ضداً للحالة الأصلية .

لقد نسى أن يأخذ فى اعتباره الأشياء المحيطة بالمبنى ، مثل الأرض بل والكون بأسره ؛ لأن عند الدوران ، لا تدور الأرجوحة بالنسبة للمبنى وحده بل أيضاً بالنسبة للأرض . وفى الحالة العكسية يجب أن نجعل المبنى وحده يدور حول الأرجوحة الثابتة — بل أيضاً الأرض والكون — وعندئذ فقط سوف نقدم صورة متطابقة ولكن عكسية .

ويستمر « ماخ » فيقول إنه فى هذه الحالة سوف تظهر القوة المركزية الطاردة مرة ثانية فى الأرجوحة ، لأن هذه الحالة ليست سوى الحالة الأصلية ، رغم أنها تقدم وصفاً مختلفاً من الناحية الحركية . فى هذا الوصف يجب أن تفهم القوة المركزية الطاردة كأثر للكتلة الأرضية الدائرية أو حتى أثر الكتلة النارية . هذه الكتل المتحركة تنتج مجال جذب جربته داخل الأرجوحة . وبطريقة مدهشة للغاية يصبح مفهوم القوة داخلاً ضمن الارتداد الذى يؤدى إلى التفسيرين المماثلين . نفس الأثر القابل للملاحظة أى الضغط ضد درابزين سلم ، يبدو من خلال تصور ما نتيجة لحركة الأرجوحة يظهر فى مفهوم ما

كنتيجة لحركة الأرجوحة . وفى مفهوم آخر يظهر كنتيجة لدوران الكتل المحيطة . وهذه الكتل الدائرية يجب أن تشكل مثل هذا المجال الخاص بالقوة المتسقة النصف قطرية تعتبر جديدة بالنسبة للعلوم الطبيعية ولكنها لا تمثل فكراً غير عادى .

ووفقاً لهذا المفهوم فان جاذبية الكتل عند « نيوتن » تلحق بها القوى الجديدة التى تنشأ من الحركة الدائرية . وبتخيل المرء (ووفقاً لماخ) أن جدران المبنى يكون بكثافة عدة أميال — ثم عند الدوران حول الأرجوحة تنتج كتلة الجدران فى منتصف الأرجوحة مجالاً من القوى المتشعبة التى تتطابق مع المجال الطردى المركزى . وهذا المجال بطبيعة الحال سيكون أدنى فى القوة من ذلك المجال الذى ينشأ عن دوران العالم .

هل يمكن البرهنه على ذلك تجريبياً ؟ ولكن كما يعلق « ماخ » فإن الدليل موجود بالفعل . لأننا نلاحظ فعلاً القوة المركزية الطاردة ، وإذا فسرناها كأثر للكتل الدائرية للنجوم ، سيكون هذا هو كل ما يمكن أن نطلبه من الملاحظة .

إن المفهوم الجديد يختلف عن المفهوم القديم فى التفسير فقط وليس فيما يمكن أن يلاحظ بالحواس . وعلى الرغم من ذلك قد يكون من الممكن أن نوع التجارب التى قد تؤدى فكرة « ماخ » من خلالها إلى ملاحظات جديدة . تخيل عجلة قيادة فى آلة أو ماكينة ضخمة فانها تمثل كتلة دائرية وسوف تمارس فى داخلها وفعلاً يتحرك بقوة (ميكانيكية) ويخلق بالقرب من محورها منطقة « قوة مركزية طاردة » . و« ماخ » لا يقصد هنا بطبيعة الحال الفعل الخاص بالقوة المركزية الطاردة للعجلة ، التى تحتمى العجلة من اثار تفجيرها فقط بسبب صلابتها . أكثر من ذلك فقد أراد أن يقول إن الجسم الصغير الساكن . إذ حرك بالقرب من المحور ، سوف يخضع لجذب نحو حافة العجلة وهذا الفعل الصغير للغاية لدرجة أنه لا يمكن أن نبرهن عليه ، ان كتلة أكبر عجلة تكون فى الواقع صغيرة جداً بالمقارنة بدورة العالم أو دورة النجوم الثابتة التى لا تنتج (تقدم) القوة المركزية الطاردة العادية .

ولكن ما هو أهم حتى من هذه النتيجة الفيزيقية هو نسبية مفهوم القوة ، كما عبر عنه ماخ لأن ما يقوله ماخ هو أنه وفقاً لاختلاف صفات حالة الحركة ، يجب أيضاً أن يقدم مجال القوى فى طريقة مختلفة وبمجرد أن يشترك مفهوم القوة فى النسبية ، يختفى التمييز الديناميكى للحالة الواحدة من الحركة . وبهذا لا توجد حركة مطلقة بأى معنى من المعانى .

وهنا تنصب قيمة هذه المناقشة . إن نسبية الحركة يمكن الاحتفاظ بها ليس فقط من الناحية الحركية بل أيضاً الديناميكية إذا تقدمت نسبية مفهوم القوة . وحتى القوى ليست كميات مطلقة ، انها تعتمد على نظام الاستدلال . فعندما ينتقل الانسان إلى نظام متحرك بصورة مختلفة يجب أن تقاس القوى بصورة مختلفة . فما يبدو كفعل القصور الذاتى عندما نتصور الأرجوحة عندما تتحرك ، يبدو كفعل الجاذبية عندما نتخيل الأرجوحة واقفة والأرض تدور . وحتى نظرية « كوبرنيكوس » فى العالم يبدو أنها اهتزت بسبب هذا الاعتبار . فلم يعد هناك معنى وفقاً لذلك — وفى الحديث عن اختلاف الحقيقية بين « كوبرنيكوس » و« بطليموس » : فكلا المفهومين يعتبران وصفين يمكن السماح بهما بدرجة متساوية .

وما يعتبر أعظم اكتشاف للحكمة عند الغرب — وهى مخالفة ومغايرة لحكمة العصور القديمة — هو البحث فى قيمتها الحقيقية . وعلى الرغم من أن هذه الحقيقة تحذرنا بشكل واضح كى نكون حريصين وأكثر دقة عند صياغة أو تقدير النتائج العلمية ، وعلى الرغم من ذلك فهى لا تدل بأى حال عن خطوة للوراء فى تقديم التاريخ . إن مذهب النسبية لا يؤكد أن وجهة نظر بطلميوس صحيحة ، بل إنها تعارض المعنى المطلق لأى من وجهتى النظر . والنظرة الجديدة هذه يمكن بلوغها فقط لأن التطور التاريخى سار من خلال المفهومين معاً ، وذلك لأن استبدال نظرة « بطلميوس » للعالم بنظرة « كوبرنيكوس » لما وضع الميكانيكا الجديدة التى أمدت فى النهاية العالم الطبيعى بوسائل التعرف على الجانب الواحد لنظرية « كوبرنيكوس » نفسها

عن العالم . إن الطريق إلى الحقيقة مر هنا بثلاث خطوات جدلية اعتبرها « هيجل » ضرورية لكل تطور تاريخي . والخطوات تبدأ من التضاد إلى التوافق الأعلى .

وعندما رد ماخ على نيوتن بأن القوة المركزية الدافعة يجب أن تدخل في الاعتبار والحسبان ، بالنسبة للحركة النسبية وحدها ، فقد قدم مجرد برنامج وليس نظرية فيزيقية ، وفي الواقع فقد كان مجرد بداية لبرنامج عن النظرية الفيزيقية التي توضح الفكرة . وحقيقة الأمر ليست فقط القوة المركزية الدافعة بل كل الظواهر الميكانيكية أيضاً يجب أن تدخل في الاعتبار والحسبان بالنسبة للحركة النسبية . والسؤال الآن : كيف نشرح نسبياً ظواهر الحركة في مجال الجاذبية ، كحركات النبات مثلاً ؟

لقد كان انجازاً هائلاً في ميكانيكية « نيوتن » حيث أمدت نظرية « كوبرنيكوس » عن العالم بأساس ديناميكي . بينما لا يوجد فارق (اختلاف) من المنتنق الحركي — بين مذهبي « كوبرنيكوس » و« بطلميوس » ، إلا أن نيوتن يبدأ من الديناميكا مقرراً أن ذلك من أجل « كوبرنيكوس » ، لأن نظريته في القوة الجاذبية قدمت إلى « كوبرنيكوس » تفسيراً ميكانيكياً ، بينما لا تتناسب أفلاك بطلميوس المعقدة مع أي تفسير . وإذا كان السؤال هو كيف نقدم كلا المفهومين عن الكون من خلال تبرير متساو من حيث علاقتهما بالديناميكا ، فعندئذ لابد أن توجد نظرية عامة في الجاذبية توضح وتشرح حركة الكواكب عند « بطلميوس » وعند « كوبرنيكوس » كظاهرة للجاذبية . وهنا يكمن الانجاز الرياضي والطبيعي الهائل الذي أحرزه « اينشتين » ، مقارنة بفكرة ماخ التي تبدو فقط مجرد اقتران أولي . لقد أوجد اينشتين نظريته شاملة للجاذبية ، وبسبب هذا الاكتشاف وحده الذي وضع اسمه في نفس التصنيف مع « كوبرنيكوس » و« نيوتن » ، نستطيع أن نقول إن مشكلة نسبية الحركة قد وصلت إلى منتهاها من الناحية الفيزيقية (الطبيعية)

الفصل الخامس
النظرية النسبية العامة

حتى بالرغم من أن الأفكار الأساسية التى تؤدى إلى النظرية العامة للنسبية كانت واضحة بالنسبة لاينشتين ، فان الطريق إلى النظرية الكاملة كان لا يزال طويلاً وشاقاً . وفى عام ١٩٠٦ ، تقريباً بعد صياغة النظرية الخاصة للنسبية، فسر وشرح « اينشتين » المبادىء الأساسية الخاصة بالمذهب الجديد ، ومتبعاً بشكل جوهرى « ماخ » . ولكن تركيب النظرية قد وضعه أمام صعوبات رياضية غير متوقعة ، وفى هذا الطريق ، مرت فترة وجيزة وكان فكر « اينشتين » قدسيطرعليه عدم امكانية النظرية العامة للنسبية . فقط فى عام ١٩١٥ نجح فى اكمال النظرية وذلك عن طريق دمج أفكار « ماخ » الخاصة بنسبية الحركة مع النظرية الخاصة للنسبية فى نظرية جديدة متكاملة خاصة بالجاذبية ، متوصلاً بذلك إلى استنتاج فترة أو عصر الطبيعة الكلاسيكية . وقد وصلت أخبار نظرية اينشتين إلى العامة فقط فى عام ١٩١٩ عندما أرسلت حملة أو بعثة انجليزية لملاحظة كسوف الشمس فسجلت فى تقريرها التأكيد الفلكى الأول لتنبؤاته .

وفى محاولة لاحياء نظرية « اينشتين » الخاصة بالجاذبية ، فانه يجب علينا أولاً أن نكون على دراية بالتعديل الذى قدمه « اينشتين » لنظرية ماخ ، إن النظرية النسبية الخاصة بالقوة لو وضعت فى الشكل الذى أعطاه لها ماخ ، فانها يمكن أن تستخدم فقط فى الربط بين الحركة الدائرية ، وكان على « اينشتين » أن يوجد الفكرة فى شكل ما آخر لكى يجعلها تناسب كل حركة ، وقد حقق غرضه من خلال ما يسمى بمبدأ التطابق أو التماثل .

ونحن نستطيع أن نوضح هذا المبدأ عن طريق وسائل عديدة منها ما يعرف « بصندوق التجربة » الذى اخترعه اينشتين لكى ينشر هذه الأفكار . والآن دعنا نتخيل صندوقاً مغلقاً فى حجم حجرة ، وهى التى نجد العالم الطبيعى نفسه فيها (شكل ٨) . ويوجد خيط حلزونى متدلى من السقف ومتصل به وزن من الحديد M . ويأخذ العالم الطبيعى مقاس المسافة بين الثقل والسقف .

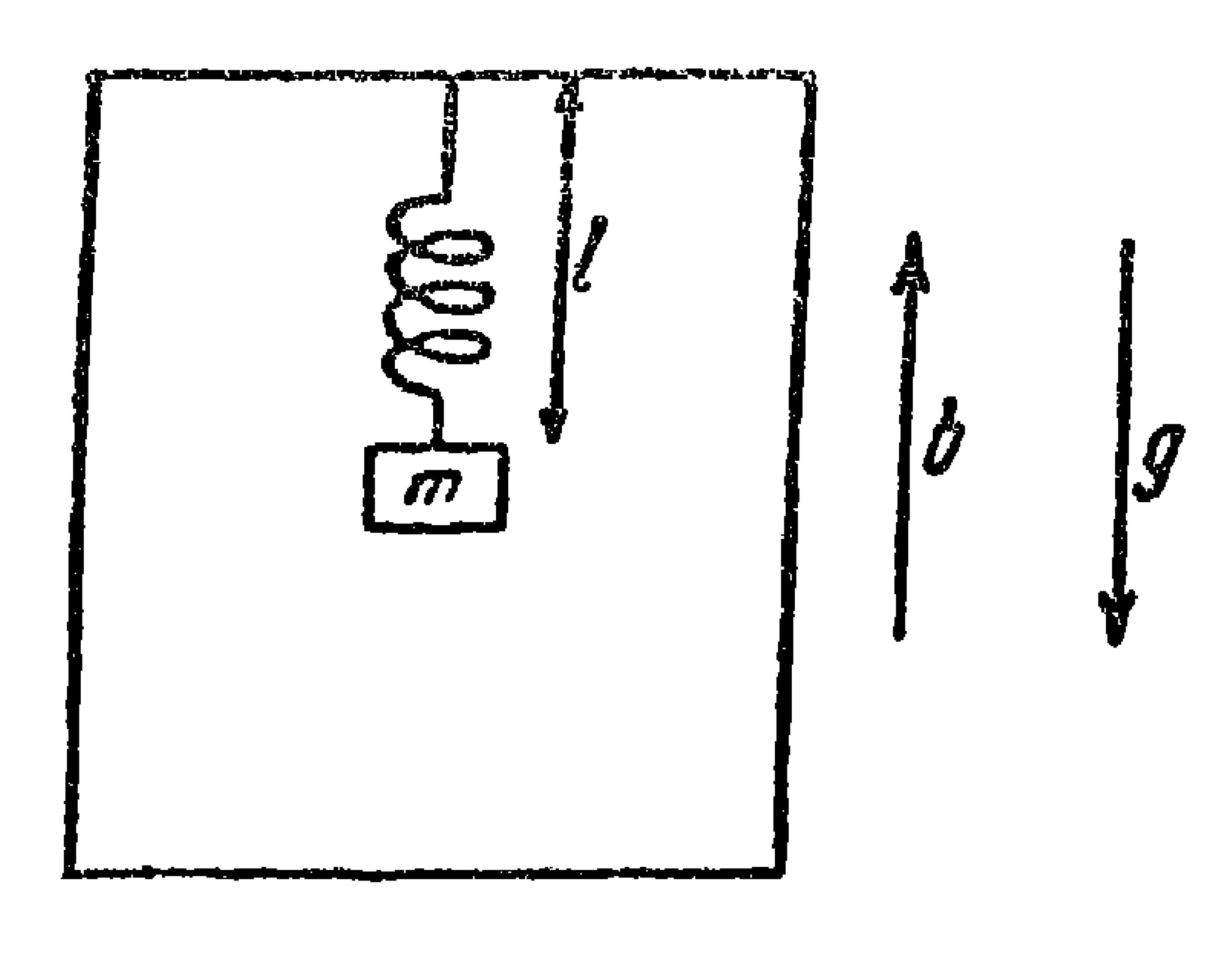


Fig. 8. Einstein's "Box Experiment"

والصندوق ليس به نوافذ . هل يتحرك الصندوق من الخارج ، وهل لاحظ عالم الطبيعة هذه الحقيقة ؟ نفترض أن الصندوق قد شد أو تم رفعه إلى أعلى بواسطة حبل ، مثل كشاف ، فى اتجاه السهم ط . هل يلحظ عالم الطبيعة الموجود بالداخل ذلك ؟ فى الحقيقة فإنه يستطيع أن يلاحظ التغير فى داخل الصندوق : الثقل M يمكن أن يظل ساكناً خلف الحركة . وطول الحبل سوف يزداد قليلاً مصحوباً بزيادة فى الجهد الخاص به . وهكذا سوف تكون نتيجة الحركة المتزايدة طول الحبل . والآن ، كما يقول « اينشتين » ، دعنا نفترض أن العالم الطبيعى يكون مهتماً بطول الحبل ، فإن هذا هو كل ما لاحظه مباشرة . هل يجب عليه أن يستدل على حركة الصندوق ؟ بالتأكيد فإنه يستطيع أن يقوم بهذا الاستدلال ، لأن حركة الصندوق سوف ينتج عنها هذا التأثير . ولكن هل لا يستطيع هذا التأثير أن ينشأ بطرق أخرى ؟ إذا كان هذا السبب الثانى ممكناً فإنه ليس هناك ضرورة للاستدلال على حركة الصندوق .

والآن ، يوجد فى الواقع سبب ثان يمكن أن ينتج عنه نفس التأثير . لو أننا افترضنا أن كتلة كوكبية يتم تجميعها تحت هذا الصندوق ، فسوف ينتج عنها مجال جاذبية . هذا المجال سوف يؤثر على الثقل فى اتجاه السهم g ويجذبه إلى أسفل . مرة أخرى فإن عالم الطبيعة سوف يلاحظ زيادة فى جهد الحبل ومثلها

أيضاً زيادة فى طوله ! . ومن الطول الملاحظ للحبل يستطيع العالم الطبيعى أن يستدل على مجال الجاذبية تحت الصندوق بينما تكون حركة الصندوق إلى أعلى .

ولكن ألا توجد طريقة للتمييز بين هذين الاحتمالين ؟ ألا توجد تجارب أخرى تمكننا من التمييز بين مجال الجاذبية والحركة المسرعة ؟ بالتأكيد لا توجد طالما أن عالم الطبيعة يجرى تجاربه داخل الصندوق ، ولكنه إذا شق نافذة داخل الصندوق ولاحظ الأشياء المحيطة الخارجية ، ألا يستطيع أن يحدد اذن وبسهولة ما يحدث بالخارج ؟

انه يستطيع بسهولة أن يلاحظ بعينية ما إذا كانت الكتل الكوكبية قد تجمعت أسفل الصندوق أم لا . وينبغى أن نتذكر هنا أنه وفقاً للاعتبارات التى قدمناها فيما سبق هناك مجالات جاذبية أخرى ممكنة غير تلك التى تقدمها الكتل ثابتة ، أى أن حركة الكتل يمكن أن تقدم مجالاً للجاذبية ، نسميها مجال ديناميكى للجاذبية . ودعنا نفترض أنه ليست هناك كتل مجتمعة أسفل الصندوق ، ولكن العالم الطبيعى يلاحظ الحركة المسرعة للصندوق بالنسبة للعالم المحيط به ، وهل يجب عليه الآن أن يقول إن الصندوق فى حركة وأن العالم فى ثبات ؟ لقد جعلنا من الواضح أن مجرد الملاحظة بالعين المجردة لا يمكن أن يفيده بأى شىء فى هذه العلاقة لأنه يبلغه فقط بالتغير فى المسافات النسبية . والآن نجد أن التجارب الميكانيكية داخل الصندوق ليست حاسمة أو قاطعة ، إذا أخذ العالم الطبيعى فقط بمجالات ديناميكية للجاذبية فى الاعتبار . وعندئذ يستطيع العالم الطبيعى أن يوضح أو ينظر فى تطويل خيط بطريقتين :

١ ــ يتحرك الصندوق لأعلى بسرعة فى اتجاه b ، والوزن والثقل M يبقى فى الخلف بسبب القصور الذاتى ، ويصبح الخيط مشدوداً .

٢ ــ ويبقى الصندوق ثابتاً ولكن الكتل المحيطة تتحرك لأسفل بسرعة ، أنها تنتج مجالاً ديناميكياً للجاذبية g ، والوزن (الثقل) M ينسحب لأسفل

بسبب ثقلها ، ويصبح الخيط مشدوداً وكلا التفسيرين له ما يبرره ، وليس هناك تمييز موضوعي بينهما وإذا نظرنا عن قرب إلى الصياغتين ، نلاحظ أنه بينما القضيتان الأخيرتان متشابهتان ، فهناك اختلاف غير مألوف في القضايا قبل الأخيرة . وفي الصياغة الأولى قبل « الوزن » M يظل للوراء بسبب قانون القصور الذاتي ، وفي الصياغة الثانية : « الوزن M ينسحب بسبب الثقل » والصفتان من صفات الأجسام المختلفة اختلافاً تاماً ، القصور الذاتي والثقل ، وقد وضعت الصفتان هنا متوازيتان مع كل منهما . ان واحدة من هاتين الخاصتين تؤدى إلى نفس الأثر أي إلى الاشتداد المتزايد للخيط . ولكن ما هي الأسس ؟

لكي نفهم ذلك يجب أن نعيد فحص هذه الخواص بتفصيل أكبر . لأن الرجل العادي لا يعرف تماماً ما يجب فهمه عن طريق مفاهيم القصور الذاتي Inertia والثقل Heaviness ولذلك لنبدأ بالتمييز الذي يحكمها ، أي نبدأ بالتمييز بين الكتلة Mass والوزن Weight . إذا وضعنا بلوك (كتلة) من الحديد في اليد ، نشعر بضغط متزايد بسبب وزن هذا الحديد . وهناك عاملان داخلان في وزن الجسم : العامل الأول كتلة الجسم نفسه ، والعامل الثاني كتلة الأرض . وهذا الأثر المزدوج للعوامل الايجابية يمكن أن يكون معقولاً النحو التالي . إذا تناولنا بلوك من الحديد أكبر فنحن نزيد بذلك كتلة الجسم ، وهكذا يزيد الضغط على اليد . وأحد أسباب الضغط يدخل ضمن الكتلة الجسمية . ونستطيع أن نزيد الضغط أيضاً بطريقة مختلفة دون تغيير الجسم نفسه . إذا قمنا بزيادة أحد هذه الأماكن من الأرض ، حيث تكون جاذبية الأرض أقوى وأشد ، عندئذ سوف تزداد جاذبية الجسم وكذلك يكون ضغطه على اليد أقوى . وفي الواقع توجد أماكن من هذا النوع، فمثلاً قد ينزل الانسان إلى منجم عميق للفحم ، أو قد يذهب إلى مقربة من قطب الأرض الذي يقع قريباً من مركز الأرض (بسبب شكلها المسطح) أكثر مما يفعل في المنتصف أو في المناطق المدارية . ونحن متأكدون أن الاختلافات في الجاذبية لا

تكون كبيرة : فهى غير محسوسة باليد ، بل أن قدرات شعورية (حسية) أكبر يجب أن تستخدم . والموازين التى نتحدث عنها لن تكون من النوع المتوازن ، لأن الأوزان التى توضع فى مكان واحد تزداد فى وزنها مثل قطعة الحديد ، وينتج عن ذلك أن الميزان سوف يدل على نفس الوزن مثلما كان من قبل . وقد يستخدم الانسان خيطاً شبيهاً بذلك الذى يستخدم فى المنزل ، ثم فى الأماكن التى تقع قريباً من مركز الأرض ، سوف نجد أن الخيط مضغوطاً .

ان وزن الجسم اذن يختلف عن كتلته ، إنه تأثير جاذبية هذه الكتلة عن طريق الأرض . وعلى مسافة كبيرة من الأرض والأجسام السماوية الأخرى ، يكون وزن الجسم صفراً (لا شىء) بينما كتلته تبقى دون أن يصيبها تغيير . وعلى كوكب كبير مثل « عطارد » تكون كل الأجسام أثقل بكثير مما على الأرض . وعلى سبيل المثال فإن قوتنا العضلية لن تكون كافية هناك لحمل أو رفع طفل من فوق الأرض . بينما على جسم سماوى صغير مثل القمر نستطيع أن نلتقط (نحمل) شخصاً كبيراً بسهولة شديدة . ولذلك نستطيع أن نحدد الكتلة بأنها نوعية أو كيفية الجسم التى تحدد وزنه فى مجال جاذبية معين والوزن نفسه يعتمد على مجال الجاذبية هذا .

والكتلة إذا فهمناها على هذا النحو فانها تميز الجسم فقط فى صلته بمجال الجاذبية . ولذلك فهى تميزه بأسلوب من جانب واحد فقط ، وسوف نسميها « الكتلة الثقيلة » للجسم . بالاضافة إلى ذلك يوجد أثر للكتلة مختلف اختلافاً تاماً ، أثر يؤدى بنا إلى مفهوم « كتلة خاملة » .

نتخيل عربة سكة حديد محملة ، حتى تنطلق فى حركتها فهذا يتطلب قوة كبيرة ، وهذه القوة لا تكون موجهة ، مع ذلك ضد الجاذبية ، حيث أن العربة تدور على خطوط أفقية والقصور الذاتى للحمولة هو الذى يعترض الحركة . لذلك فان القوة المطلوبة تكون مستقلة استقلالاً تاماً عن الجاذبية ، ولكى نحرك عربة على كوكب « عطارد » فليست هناك قوة مطلوبة أكثر من

تلك التى على الأرض والعكس صحيح ، ولن تكون هذه الحركة أيسر على القمر . وقد حددنا الكتلة الخاملة بتلك الخاصية (الصفة) التى تحددت باعتراض التغييرات فى الحركة .

والحقيقة التى أسفرت عنها التجربة أن الكتلة الخاملة للجسم تساوى كتلته الثقيلة ، ويمكن توضيح هذه الحقيقة على النحو التالى :

افترض أن قرمة خشبية أو قطعة حديد موضوعة على موازين كبيرة ، والقطعتان وجد أنهما متعادلان فى الوزن . فان قرمة الخشب تكون بطبيعة الحال أكبر . والآن سلمت القطعتان واحدة تلو الأخرى إلى عربة سكة حديد ، بعد ذلك نبحث ما إذا كانت الصعوبة متعادلة فى وضعهما فى حالة حركة عبر الخطوط الأفقية . وهذا لا يهم بطبيعة الحال . فسوف يلاحظ الانسان ان القرمة الخشبية الكبيرة سوف تظهر مقاومة للقصور الذاتى أكثر من قطعة الحديد الصغيرة ، دون اعتبار لوزنها أو ضغطها على التركيب الأسفل (السفلى) . لأن ذلك لا يدخل هنا فى الاعتبار . ولكن التجربة تعلمنا أنه لا يوجد فرق على الاطلاق ، فالأجسام ذات الوزن المتعادل يكون لها نفس القصور الذاتى . فالكتلة الثقيلة تعادل الكتلة الخاملة .

وهذه النتيجة أيضاً تفسر حقيقة وهى أن كل الأجسام تسقط بسرعة متعادلة . الجسم الأثقل له سقوط أقوى لأسفل . ولكن فى الوقت نفسه لابد أن يحمل كتلة خاملة أكبر ، وهذا هو السبب فى أنه لا ينزل (أو لا يسقط) أسرع .

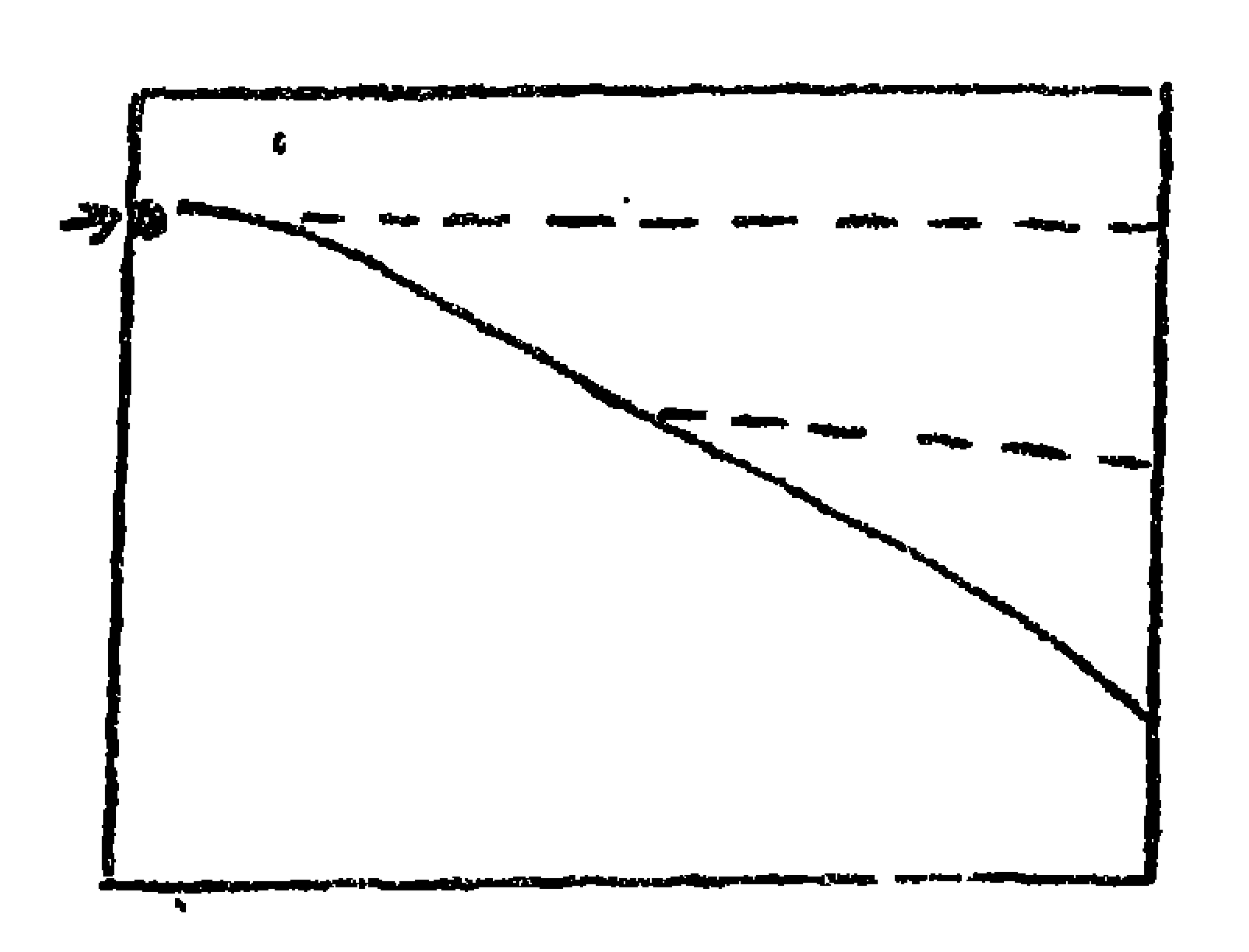
بعد هذه الاعتبارات نعود إلى نقطة بدايتنا وهى العالم الطبيعى فى الصندوق ، الذى يكون حاصلاً على تفسيرين متعادلين لمعنى اكتشافاته . ان علاقة هذا الاعتبار « لاينشتين » بانتقاد ماخ لمشكلة الدوران تصبح الآن واضحة . ونجد هنا أيضاً ثنائية التفسير : المعلول الملاحظ للقوى يكون اما راجعاً إلى مقاومة القصور الذاتى أو إلى انسياب مجال الجاذبية الديناميكى . بينما

المعلول الملاحظ كان فى حالة « ماخ » هو القوة الدافعة المركزيـة والضغط ضد درابزين الأرجوحة ، وفى حالة تجربة الصندوق عند « اينشتين » يكون المعلول الملاحظ هو اشتداد الخيط ، ولكننا الآن نعرف ميزة ما قدمه « اينشتين » ، لأنه يسمح لنا أن نكتشف السبب وراء التفسير المزدوج ، ففى التفسيرين الخاصين بتجربة الصندوق نرجع إلى قانون القصور الذاتى للوزن M ، مرة ، ونرجع إلى ثقلة مرة ثانية . وهذان المفهومان يؤديان إلى نفس الأثر (المعلول) الملاحظ ، وهذا ناتج عن الحقيقة بأن الكتلة الخاملة والكتلة الثقيلة متساويان . ورغم أن تعادل الكتلة الخاملة والكتلة الثقيلة كان معروفاً زمناً طويلاً ، إلا أن اينشتين كان أول من تعرف على المغزى الأساسى من وراء هذه الحقيقة ، فقد أدرك أن هنا يكمن السبب فى أن التمييز بين الحركة المسرعة والجاذبية لا يمكن أن يتم . وهنا يكمن السبب أيضاً فى أن العالم الطبيعى داخل الصندوق لا يستطيع كذلك أن يحدد ما إذا كان يتحرك لأعلى بحركة مسرعة أم أنه مجال للجاذبية يتدخل من أسفل . ولذلك فان « اينشتين » يرى أن المفهومين متماثلان ويقرر أنه لا معنى لأن نبحث عن تمييز حقيقى بينهما .

وبهذا التأكيد فان المشكلة أخذت منعطفاً « لاينشتين » تماماً . أما إنه عندما نتصور التماثل والتطابق كاملاً على نحو ما فعل اينشتين هنا ، فان المفهوم يكون أكثر خصوبة فى محتواه مما يقدمه الاستدلال التجريبى لتعادل الكتلة الخاملة والكتلة الثقيلة . انها تقدم افتراضاً عاماً حول كل الظواهر الطبيعية . وهذا التماثل (أو التطابق) لا يفترض أنه يعمل فقط فى مجال الظواهر الميكانيكية بل أيضاً فى مجال الظواهر الكهربائية والبصرية الأخرى ، وفى كل هذه الحالات لا يوجد فارق فى النتيجة ، سواء كان المرء يتحدث عن الحركة المسرعة للصندوق أو كان يتحدث عن مجال الجاذبية . وهناك افتراض بعيد المدى حول هذا ، يذهب إلى أنه لا يوجد شىء أقل من الظواهر الكهربية والبصرية الأخرى يمكن أن يدخل ضمن نظرية الجاذبية العامة ، ان الجاذبية تلعب نفس الدور فى مذهب الكهرباء والبصريات الخ مثلما تلعبه فى الميكانيكا ، وأنا أقول أن هذا منعطف خاص تماماً « باينشتين » . ان العمق

الطبيعي (الفيزيقي) لأفكار اينشتين يمكن فهمه في الحقيقة فقط عندما يدرك الانسان كيف أن منهج البرهان والاستدلال هذا يستخدم لافتراضاته الأساسية . وهذا هو الحال مع نظرية النسبية الخاصة . ولقد كان معروفاً أن محاولات عديدة مهمة قد فشلت في تأكيد وجود الأثير ، وانتهى « اينشتين » من ذلك إلى أنه لا يمكن أن توجد محاولة مشابهة لذلك تقدم ما هو أفضل . أن مبدأ التماثل (التطابق) لا يكشف عن نفس الاتجاه . ومن المعروف أن الظواهر الميكانيكية لا تكشف عن أى تمييز بين الحركة المسرعة ومجال الجاذبية . وينتهى اينشتين إلى أن هذا ينطبق بصفة متعادلة على كل الظواهر الأخرى . ومن منطلق المنطق لا يستطيع المرء أن يتحدث هنا عن الاستدلال ، لأن هذا الافتراض بعيد المدى لا يمكن الاستدلال عليه منطقياً عن طريق بعض الحقائق القليلة المتاحة ، بل لدينا هنا اجراء طبق الأصل فى الطبيعيات ، وهو تكوين الفروض ، فعلى الرغم من أن افتراضاً واسع النطاق لا يمكن تبريره أو اثباته بطريقة منطقية ، إلا أنه يتم فى روح واحدة . ويبدو أن هناك شيئاً يشبه الغريزة للاتجاهات الخفية للطبيعة ، ومن يملك هذه الغريزة يصل إلى المكان الصحيح الذى يختفى فيه المذهب ، ومن ثم يصل إلى آراء علمية عميقة . ويجب أن يقال أن « اينشتين » يملك هذه الغريزة إلى أعلى درجة لها ، ففروضه لا يمكن اثباتها بطريقة منطقية خالصة ، لكنها تقدم أفكاراً جديدة تماماً فى المكان الصحيح .

ففى الطبيعة أيضاً يكون من الممكن اجراء تجارب تحقق فيما بعد الفروق الجديدة ، لذلك فمن الممكن اجراء تجارب اختبار لفرض « اينشتين » بأن الظواهر الكهربائية والظواهر البصرية تتأثر بالجاذبية . ومثل هذه التجارب قد أجريت وقد أكدت صحة فرض اينشتين بطريقة فاصلة .



انحناء (انكسار) أشعة الضوء فى صندوق اينشتين .

شكل رقم (٩)

وسوف نوضح هذه الصفة المميزة للتفكير وذلك بتطبيقها على مثال معين ، أى على الصلة بين الضوء والجاذبية . ولهذا الغرض فقد تحولنا مرة ثانية إلى الصندوق الذى يجرى فيه العالم تجاربه دون أن يكون قادراً على التمييز بين السرعة والجاذبية Gravity . دعنا نفترض أن الصندوق ثابتاً (كما فى الشكل السابق) . وفى الجدار الجانبى توجد فتحة صغيرة يدخل من خلالها شعاع ضوئى ، وأن هذا الشعاع يسير فى خط مستقيم ، (خط أفقى) فى ذرات الهواء . إذا كان الصندوق عندئذ فى حركة متسقة ، يتغير الخط ، بينما الضوء الذى يدخل من خلال الفتحة يكون قد وصل سابقاً تماماً عند نقطة مضادة على الجدار ، والآن فان الصندوق يتحرك لأعلى ونقطة الاضاءة تذهب إلى أسفل بعيداً عن السقف . والشعاع يرى الآن كخط منحدر (منكسر) ، رغم أنه ما يزال يتحرك فى خط مستقيم . بعد ذلك دعنا نتخيل أن الصندوق يتحرك إلى أعلى بسرعة فكلما كان الشعاع ينزل إلى أسفل كلما كان الصندوق أسرع فى الحركة ، لدرجة أن الشعاع يتخذ الصورة المنحرفة للخط المنحنى . وفى ذرات الهواء سوف يرى الشعاع فى صورة نافورة مياه مندفعة من أنبوبة وتنساب لأسفل فى قوس . هذه التجربة بطبيعة الحال لا يمكن اجراؤها فعليا ، وذلك لسبب بسيط ألا وهو أن الضوء يسير بسرعة شديدة للغاية حتى أن الاستبدال المكانى للصندوق فى نفس الفترة من الوقت لا يرتفع إلى أى شىء

من الناحية العملية ، ولا يمكن ملاحظة أى تغير فى الشعاع . وهذه التجربة يفترض أنها عقلية محضة يقصد من ورائها توضيح المبدأ .

ولننتقل الآن إلى مبدأ اينشتين فى التماثل (التطابق) Equivalence ، يرى « اينشتين » أن أمر غير متعلق بالمادة يجب أن نبحث فى الحركة المسرعة أو فى مجال الجاذبية . وهذا يعنى ، أنه عندما يحدث انكسار للأشعة الضوئية فى حالة الحركة المسرعة يجب أيضاً أن يحدث فى مجال الجاذبية . والنتيجة المذهلة تنشأ فى الحال من المبدأ .

ونحن نجد هنا نتيجة جديدة تماماً لنظرية « اينشتين » فى الجاذبية . والتأكيد هنا له مغزى بعيد المدى . فالضوء — وفقاً لهذا التأكيد — لا يسير فى مكان مفتوح فى خط مستقيم عندما يدخل مجال جاذبية الكتل ، بل على العكس فإنه يتبع ممراً لا يختلف عن ذلك الممر الذى يتخذه الرمح عند طيرانه ، وهذا يمكن بحثه فلكياً فى ملاحظات متكررة منذ أن استنبطه « اينشتين » للمرة الأولى من اعتباراته النظرية . ومثل هذه الملاحظات تتطلب فقط دقة هائلة بل انها لا تتم إلا أثناء حدوث كسوف كلى للشمس ، ويجب أن يعد كل شيء ويجهز للعالم الفلكى الذى يرغب فى تقفى أثر « اينشتين » .

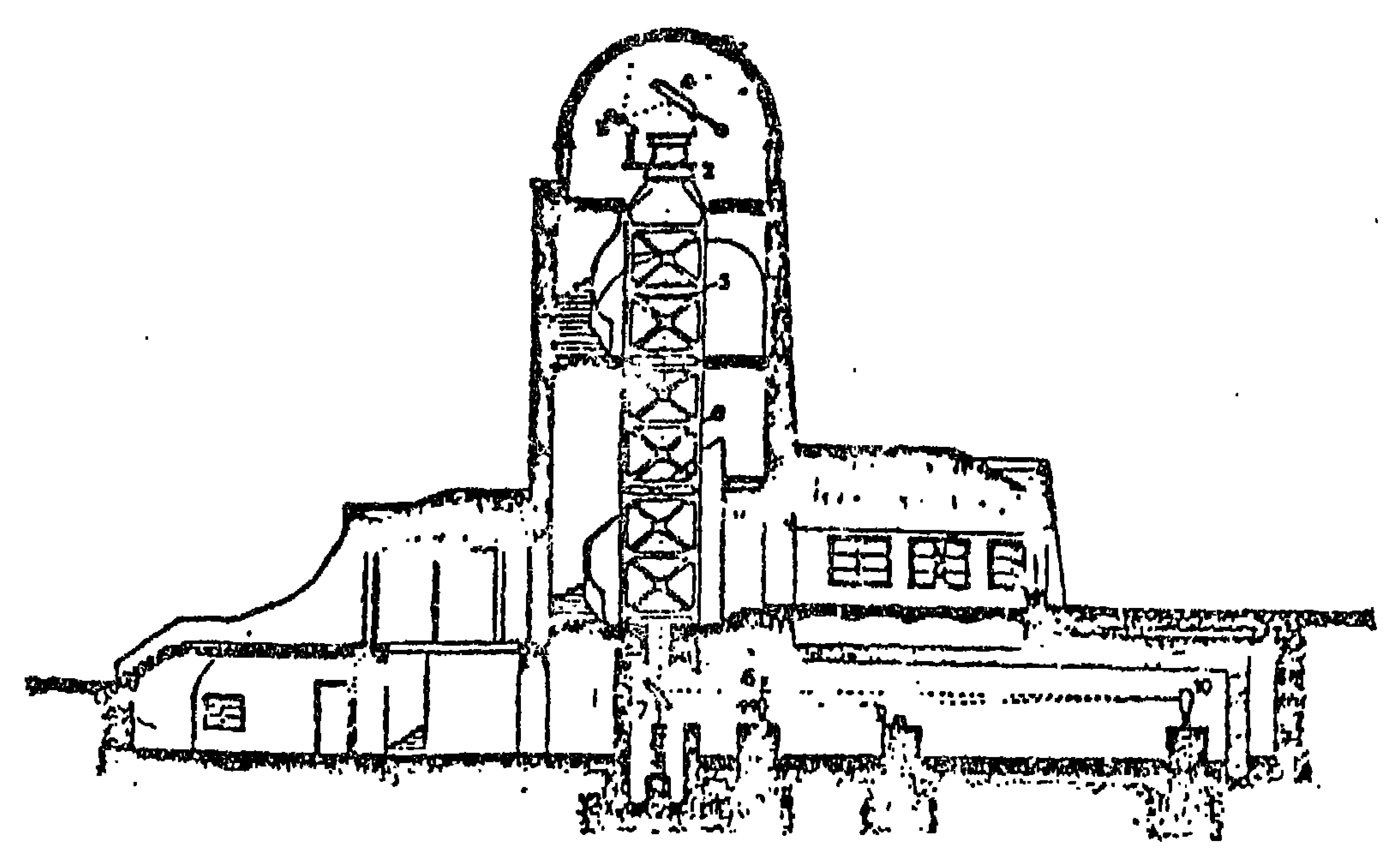


Fig. 10. *The Einstein Tower in Potsdam*

1. Cupola. 2. Revolving style for the mirror. 3. Coelostat. 4. Counter-mirror. 5. Objective. 6. Wooden scaffold. 7. Steering mirror. 8. Slot. 9. Prism apparatus. 10. Diffraction grating. 11. Photographic camera.

وقد انتهى « اينشتين » أيضاً إلى نتيجة أخرى من مبدأه فى التماثل ، وهذه تتعلق بسلوك الساعات داخل الجاذبية . فعن طريق حساب انحرافات معينة فى الساعة بالنسبة للحركة المسرعة للصندوق الذى تحدثنا عنه من قبل وعن طريق تحويل النتائج إلى مجال الجاذبية ، انتهى إلى أن الساعة التى تخضع لتأثير مجال الجاذبية القوية تصبح أبطأ ، وهذا لا يمكن البرهنة عليه بطبيعة الحال على ساعات عادية ، حيث أن كل ساعات اليد حتى أفضل أجهزة لقياس الزمن مازالت غير مضبوطة بالدرجة التى تستخدم فيها فى قياس هذه التأخيرات البسيطة ولكن العالم الطبيعى يعرف نوعاً آخر من الساعات تتجاوز الدقة فيها ما يصنعه الانسان ، فهى الذرات الفردية التى يتكون فيها كل جوهر . ودعنا نصف باختصار ـــ خطة (فكرة) البرهان التى ينطوى عليها مذهب « اينشتين » .

منذ أبحاث العقود الأخيرة أصبح من المعروف أن الذرة ليست جسماً متسقاً بل أنها تتكون من نوعين متميزين من المادة ، النواة والالكترون . النواه الثقيلة والصغيرة جداً تقع عند المنتصف بينما الالكترونات تدور حولها فى مسار أو حركة بيضوية . وبسبب هذه الحركة الدائرية للالكترونات ، يمكن تصور الذرة بأكملها كساعة As a Clock ، كل تطور فيها (كل تغيير فيها) للذرة يتطابق مع استدارة واحدة باليد ويؤلف وحدة لزمن الساعة . والتغير فى الالكترونات يمكن قياسه بدقة شديدة مادامت تكشف عن نفسها فى عدد اهتزازات الضوء التى يمحوها الألكترون الدائرى . وفى الغالب لاحظ كل فرد كيف يصبح والغاز المشتعل « كلوريد » أحياناً يدخل فيه الملح . وملح الطعام العادى يلون اللهب بلون أصفر لأنه يحتوى على الصوديوم . أما البوتاسيوم فانه يحول لون اللهب إلى بنفسجى ، الخ . هذا التغير فى اللون يرجع إلى حقيقة أن ذرات العناصر الأساسية تنفعل باللهب وشعاع الضوء الذى يعتمد فى اهتزازاته على عدد تغيرات الالكترون ، وتكشف عن ذاتها بلون الضوء ، ونفس هذا التغيير فى اللون يحدث بوسائل ما يسمى الخطوط البصرية التى تلاحظ وتصور بجهاز طريف للغاية هو « الاسبكترومتر » جهاز قياس الضوء . وهذا الجهاز يقسم كل ضوء إلى أجزائه المختلفة ، حتى أن الضوء الأبيض يتحول عن طريق هذا الجهاز إلى رؤية ألوان الطيف كما نراها فى قوس قزح ويمتد من الأحمر بت البرتقالى إلى الأصفر فالأخضر فالأزرق فالبنفسج . أما أضواء الذرات الاشعاعية فهى على العكس من ذلك فهى تعلم بخطوط أجمل ولكن أكثر حدة منفصلة عن بعضها وكل منها يظهر فى لون واحد محدد .

يقرر « اينشتين » ان مثل هذه الساعة الذرية تكشف عن التأخير فى مجال الجاذبية ، وهو مجال جاذبية أكثر قوة من أى مجال للجاذبية على الأرض ، ويوجد فوق الشمس لأن كتلة الشمس أكبر من كتلة الأرض بكثير ، وغلاف الشمس يتكون من غازات متوهجة بالضوء . وفى الحقيقة وبمساعدة الجهاز الضوئى سابق الذكر يصبح من الممكن أن نتعرف على الألوان التى تنبعث من

خلال عناصر فردية للشمس وأن نقيس مدى اهتزازتها . فإذا حدث تأخير ما فى الذرات الفردية فى حركتها بفعل مجال جاذبية الشمس عندئذ فإن الخطوط الضوئية التى تنشأ فيها لابد وأن تحتل مكانة فى الطيف الضوئى تختلف قليلاً عن الخطوط التى تنشأ فى المصادر الأرضية للضوء إذ لابد أنها تنحرف فى اتجاه العدد الأقل من الاهتزازات ، أى نحو النهاية الحمراء للطيف الضوئى ، ولذلك يتحدثون عن الانحراف الأحمر للخطوط الضوئية الذى يلاحظ فى ضوء الشمس .

إن الاختبار التجريبى قد واجه صعوبة بالغة فى البداية حيث إنه يتعلق بانحراف قليل للغاية ، ولكن القياسات الحديثة الدقيقة جداً أكدت بشكل مقنع للغاية اكتشافات « اينشتين » ونتائجه .

الفصل السادس
المكان والزمان

وفى الفصول السابقة قمنا بوصف الجانب الفيزيقى (الطبيعى) للاكتشافات المتصلة بنظرية النسبية . وإزاء ذلك وضعنا تأكيداً خاصاً على الأسس الواقعية أى على حقائق الملاحظة والتجربة ، التى أظهرت النتائج الجريئة التى توصل إليها « اينشتين » . وفى هذا الفصل الأخير نتجه إلى البحث والنظر فى الجانب الآخر من المشكلة التى لا تتعلق كثيراً بالطبيعة تعلقها بمجال آخر ، وهو الفلسفة .

وسوف لا تبدو نظريتنا فى هذا الضوء أقل أهمية أو أقل قيمة . فنحن نواجه هنا الأفكار التى جعلت نظرية النسبية مشهورة على نطاق واسع ودوائر واسعة تميزها من النظريات الطبيعية الأخرى وتضمن لها مكاناً بارزاً داخل الفلسفة الحديثة للطبيعة . ونتحول الآن إلى ثورة أفكارنا حول المكان والزمان .

وطالما أننا معنيون بالزمن فان جزءاً أساسياً من الأفكار الجديدة قد خصص فى هذا الفصل حول نظرية النسبية . وخصص معظم الفصل لنسبية التزامن ، وهى تقرر أن زمن الأحداث أو الوقائع (المنفصلة) من حيث المسافة يكون أمراً مسلماً به داخل حدود معينة . وينبغى التأكيد على أن الأحداث أو الوقائع موضوع البحث أو السؤال يجب أن تكون منفصلة انفصالاً كبيراً فى المكان (من حيث المكان) . ولقد وجدنا أن زمن الأحداث لا يكون متاحاً للملاحظة المباشرة . ونحن كملاحظين نستطيع أن نكون بجوار أحد هذه الأحداث أو الوقائع فقط ، ويجب ارسال اشارة من واقعة أو حادثة أخرى تبلغنا بوجود هذه الواقعة أو الحادثة . وإذا أردنا أن نبلغ بالزمن الذى حدثت فيه الواقعة يجب أن نلجأ إلى الحساب . ولهذا ينبغى أن نعرف سرعة الاشارة ولكننا وجدنا أنه من المستحيل أن نقيس السرعة ما لم نحدد من قبل التزامن ، لأن مثل هذا القياس يتطلب ساعتين ووضعهما مضبوطتين فى محلين مختلفين . وبذلك يدور النقاش ، مقدمة تفترض الأخرى وحلها يكون فى التخلى عن المعنى الموضوعى للتزامن ، فالتزامن لا يمكن أن يعرف ولكن يجب أن يحدد وهذا التحديد سوف يكون قاطعاً إلى حد ما . فإذا أطلق مدفعان نيرانهما على

مرتفعين بعيدين فى آن واحد ، فسوف أسمع الانفجارين فى زمن واحد فقط إذا كنت واقفاً عند منتصف (نصف) المسافة . واستطيع أن أؤكد بعد ذلك أيضاً أن الطلقتين لم تحدثا فى آن واحد بل حدثتا متتابعتين ، ويمكن تبرير ذلك بأن تنسب للموجات الصوتية سرعة أكبر فى اتجاه واحد منها فى الاتجاه الآخر . واستطيع أن أحدد أن أحدى الطلقتين (أحد الانفجارين) حدث قبل الآخر . ومثل هذا التأكد لايوقعنى فى تناقض ، لانني سأكون قادراً دائماً على أن أفسر وأبين ملاحظتي : أى أننى أسمع الانفجارين فى آن واحد فى منتصف المسافة . وهنا تكمن فكرة من أشمل وأعمق أفكار نظرية النسبية ، فسوف نعتبر مانلاحظه مباشرة وفى الحال صادقا ، ولا توجد نظرية يمكن أن تنتهى من الوجود مهما حدثتنا حواسنا . فالجانب غير المشروط بالنسبة الى الحواس ، هو دليل التجربة الذى يؤلف المبدأ الأساسى لنظرية النسبية . ومع ذلك فقد ألحق بهذه النظرية ادراك واضح فى أن الملاحظة الانسانية محددة . ذلك أن جزءاً أو قسماً صغيراً فقط من العالم هو الذى يمكن أن يخضع للحواس ، وما يحدث فيما وراء هذا الجزء يجب أن يستنبط بالتفكير . وهذا الموضع الذى يأتى إليه الاستدلال ، ومعرفتنا تمتد بقوتها فيما وراء الأفق الضيق للرؤية وتفتح أمامنا أبواب العوالم البعيدة . وعندما نعلق أننا نرى النجوم ، فهذا تعبير غير دقيق ، فنحن نرى مباشرة ذلك الضوء الذى يتسلل إلى عيوننا فقط . وإذا انتقلنا من تجربة الوميض الذى يحدث هنا إلى القول بأن هناك نجوماً بعيدة ، فاننا نضطر إلى عمل استدلال ، وهذا الاستدلال لا يمكن عمله بدون بعض المسلمات ، وجزء من هذه المسلمات يقدمه التزامن ، والطريقة التى نحدده بها يمكن أن تغير نظامنا فى التفكير ، ولكنها لا يمكن أن تغير الحقائق الملاحظة ذاتها ، وهذا هو السبب فى أن كل هذه الأوصاف المختلفة تكون متعادلة من حيث الصدق ومتعادلة من حيث تبرير ذلك .

إن نسبية التزامن لها نتيجة غريبة مادام قياس المكان هو الأمر الذى نعنى به ، وسوف نجعل ذلك واضحاً عن طريق مثال من الأمثلة البناءه . ولهذا

الغرض ننظر فى جهاز معروف جيداً فى مجال التصوير الفوتوغرافى ، وهو ما يسمى بحاجب العدسة البؤرى (المركزى) معظم آلات التصوير الفوتوغرافى تكون مزودة حواجب ترفع بين العدسات ، ولكن كل حاجب من هذه يثبت أنه غير ملائم لتصوير الأشياء ذات الحركة السريعة لأن وقت (زمن) توجيه الحاجب لا يمكن أن يتم فى وقت قصير ، لذلك يستخدم حاجب العدسة البؤرى لالتقاط صور تستغرق وقتاً قصيراً للغاية . وفى هذه الحالة آلة التصوير تدور أو تعمل رأسياً ، بالقرب من الفيلم ، ولذلك تدور بطريقة عملية فى البؤرة المركزية ، والأجزاء المختلفة من الفيلم تتلقى الضوء فقط طالما مر أمامها الشق الأفقى . ولذلك فإن زمن التقاط الصور يكون قصيراً جداً ، ولكن فى الوقت نفسه خطأ غريب قد يتسلل إليها : فالأقسام أو الأجزاء الفردية من اللوحة لا تتلقى الضوء كله فى آن واحد ، بل تتلقى ضوءاً بعد ضوء ، وعندما يتحرك الشيء عند تصويره فإن الأجزاء التى تعرضت للضوء بطريقة فردية لا تقدم حالات متزامنة بصورة دقيقة للشيء ، بل حالات متتابعة ، والشيء لا يمكن أن يتغير رغم ذلك تغيراً كبيراً فى ذلك الوقت القصير . ويمكن أن يلاحظ ذلك فى عجلات عربة تتحرك بسرعة ، حيث أنها تتخذ شكل يضاوى معقوف مع ميل للأمام .

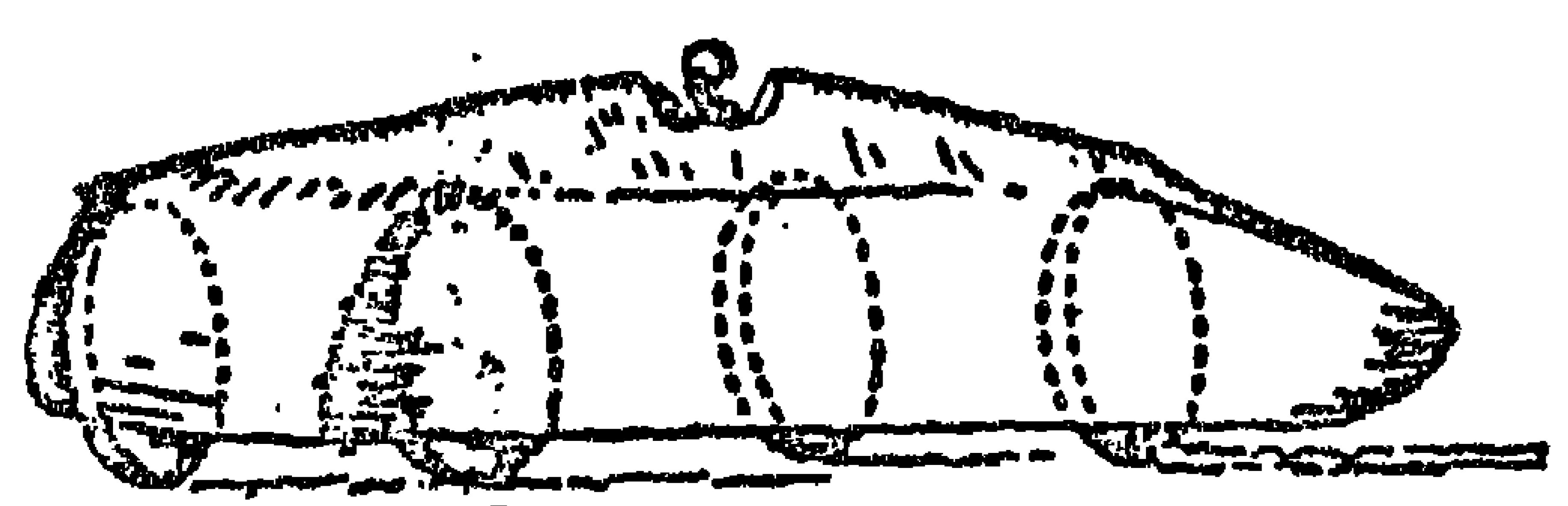


Fig. 11. Major Segrave's 1,000 Horsepower Auto at Full Speed

« عجلات عربة تسير بأقصى سرعة لها وهى بقوة ألف حصان »

ويذهب « اينشتين » إلى أن انحراف مشابه يحدث عندما يريد الانسان أن يحدد شكل الأجسام المتحركة . ولم تر الصعوبات التى وجدت هنا مطلقاً قبل

« اينشتين » . لأنه إذا لاحظ أحد جسماً متحركاً من اطار ثابت ، فان الشيء المتحرك « يصور » لكى نقول إنه من وضع ثبات ، بعد ذلك تفرض الصورة ، فيظهر الجسم المتحرك ثابتاً مثل تتابع حدوث قصفتين مندفعتين فى فترتين وعند هذه النقطة نأخذ فى الاعتبار نسبية التزامن ، فالحوادث أو الوقائع التى نتصورها متزامنة لتحديد التزامن تقدم أو تمثل تتابع الزمن بالنسبة لتحديد آخر . ومغزى هذا — عندما نعنى بتصوير الأجسام المتحركة — هو الآتى : إن ما هو صورة فوتوغرافية فورية لأى نظام زمنى هو صورة فوتوغرافية بحاجب العدسة البؤرى (المركزى) لنظام زمنى آخر . ان شكل الأجسام المتحركة يختلف وفقاً لتحديد التزامن . وليست هناك أشكال حقيقية [illegible] المتحركة ، فكل الأشكال التى يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تكون حقيقية بدرجة متعادلة .

هذه هى نظرية « اينشتين » فى التغير فى صورة الأجسام المتحركة . والمقارنة مع صورة فوتوغرافية عن طريق حاجب العدسة البؤرى تمثل طبيعة هذه النظرية تمثيلاً جيداً للغاية . والاختلاف الوحيد كَمَنَ فى أن حاجب العدسة البؤرى عند « اينشتين » يجب أن يدور أو يعمل بأسرع من الضوء . ولذلك فإنه لا يمكن أن يتم فعلاً بواسطة جهاز مثل حاجب العدسة . ومن ناحية أخرى فإن ذلك ينتج عنه أن القصفتين المحرفتين الذين يتحدث عنهما « اينشتين » ليستا كاذبتين ، بل يمكن اعتبارهما فعلاً طلقتين فوريتين (فى آن واحد) وهذه النتيجة لا تسرى على الصورة الفوتوغرافية العادية التى تأخذ بحاجب العدسة البؤرى ، فالصور التى يحصل عليها على هذا النحو لابد أن تطلق عليها بأنها محرفة .

فكرتنا توضح لنا أن قياس المكان يعتمد على التزامن . وهذه الفكرة يمكن التعبير عنها رياضياً وذلك بوضع المكان والزمان معاً فى شكل أو تركيب ذى أربعة أبعاد ، أى فى ازدواج مكانى وزمنى .

وهذا الاجراء الذى يبدو بسيطاً وبلا ضرر بالنسبة للعالم الرياضى كان السبب وراء الدهشة الماثلة والحيرة الكبيرة للآخرين . وكثير من قراء الكتب التى تتناول ذلك أعتقدوا أن المكان قد تحول من تركيب ذى أبعاد ثلاثة إلى تركيب ذى أبعاد أربعة ، وعندئذ حاول البعض دون جدوى أن يتصور أو يدرك البعد الرابع للمكان ، وناقش هذا الأمر على النحو التالى : تخيل ثلاثة عصوات من الخشب تتقابل معاً عند نقطة واحدة تحت زوايا قائمة ، مثل ارتفاع وعرض وطول الحجرة . وهذه ثلاثة أبعاد للمكان ، فهل هناك أى حجرة لها البعد الرابع ؟ وكيف يكون ممكناً أن تمر العصا الرابعة من خلال النقطة ، حتى يمكن أن تشكل زوايا قائمة مع العصوات الأخرى أو المؤلف أيضاً لا يستطيع أن يرى كيف يحدث ذلك ، ولكن نظرية النسبية لم تركز على أى شيء من هذا النوع أو تؤكده ، أنها تؤكد فقط أن الزمن يجب أن يضاف ، كزمن ، إلى المكان ، وهذا شيء مختلف تماماً . ويمكن تخيله على هذا النحو : نحتاج إلى ثلاثة أعداد لتحديد نقطة فى مكان . نفترض مصباحاً يتدلى فى الحجرة ، كيف نستطيع أن نحدد مكانه ؟ اننا نقيس مسافته من الأرض ومن الجدار الخلفى ومن الجدار الجانبى ، هذه الأشكال الثلاثة تحدد موقعه فى المكان . الأعداد الثلاثة تسمى أحداثيات ، والحجرة ذات أبعاد ثلاثة ، لأن ثلاثة أشكال نحتاجها لنحدد شيئاً من هذا القبيل الذى ذكرناه . وإذا أردنا أن نحدد ليس نقطة فى مكان بل حدثا فاننا نحتاج إلى شكل آخر ، أى إلى بيان الزمن .

لنفرض أننا أوقدنا النور ثانية ونتج عن ذلك وميض (ضوئى) ، فهذا حدث أو واقعة ، وهى تحدد تحديداً كاملاً إذا عرفنا الأعداد الثلاثة التى تحدد موضع المصباح وكذلك العدد الرابع الذى يحدد زمن هذا الوميض الضوئى . وما دامت هناك أشكال أربعة ، فإن المكان والزمان معاً يطلق عليهما ازدواج ذو أبعاد أربعة ، هذا هو السر كله . وللأسف فان هذه الحالة البسيطة غالباً ما يعبر عنها وتوصف بلغة غاية فى الغموض .

ومهما كان جديداً ذلك الذى أكدت عليه نظرية النسبية حول ازدواجية المكان والزمان فقد شرح وفسر بطريقة شاملة وواضحة فى صورتنا الخاصة بحاجب العدسة البؤرى ، انها تبين ان قياس المكان يعتمد على قياس الزمان . وهذا بطبيعة الحال شيء جديد وجوهرى ، ولكنه لا يمنع الزمن من صفته الزمنية التى تميزه ، بل أن يقال إن نظرية النسبية وحدها قد اكتشفت وصاغت التمييز الخاص غير المألوف للزمان والمكان . ولقد وضح البحث الفلسفى لنظرية النسبية أن الزمن شيء أساسى أكثر حتى من المكان ، لأنه متصل بأعمق مبدأ لكل معرفة للطبيعة ، ألا وهو قانون العلة والمعلول .

وإذا تحولنا الآن إلى مشكلة المكان فاننا نجد هنا أفكاراً ترجع إلى الوراء بأكثر من مذهب نسبية الزمان ، لأن ما يقوله « اينشتين » حول المكان والهندسة قد أعد — على الجانب الرياضى — منذ مائة عام . وهذه الأفكار متصلة بما يسمى الهندسة غير الاقليدية : فالهندسة التى درسناها فى المدرسة ترجع إلى العالم الاغريقى « اقليدس » . ولقد درست على مدى حوالى ألفى عام بالصورة التى قدمها لنا أساساً . وفى القرن الأخير فقط اكتشف نوع جديد من الهندسة على يد علماء رياضة كثيرين من بينهم « ريمان » الذى يعتبر أهم هؤلاء العلماء تقريباً . وتبدو هذه الهندسة للوهلة غير معقولة ولا فائدة منها مادامت تحتوى على مثل هذه القضايا مثل : مجموع الزوايا الثلاث فى المثلث معاً أكثر من ١٨٠ درجة ، أو أن محيط الدائرة وقطرها لا يوجد فى العلاقة $M = 3.14$. ومع ذلك فالبحث الأكثر دقة يبرهن على أنه نظام رياضى صحيح تماماً ومقبول تماماً لمن يريد أن يستخدمه . ويمكن أن نتصور أن الهندسة غير الاقليدية قد لعبت بالمفاهيم التى رغم أنها منطقية فى ذاتها إلا أنها ليست ذات مغزى أو معنى من ورائها . ويبدو أن المكان الحقيقى ، مكان الأشياء والأجسام التى فى الكون ، يتبع قوانين الهندسة الاقليدية القديمة . هذه القوانين كانت تؤخذ دائماً على أنها أساسية عندما كانت تبنى المنازل والشوارع أو المناطق التى تقاس للخرائط التصويرية (الفوتوغرافية) أو تحسب المساحات

الكونية . وبالفعل فقد سأل مكتشفوا الهندسة غير الاقليدية أنفسهم ما إذا كانت قوانين « اقليديس » صادقة تماماً . واعتقدوا أن القياسات الدقيقة والأكثر دقة قد تكشف عن تعديلات تتطابق مع الهندسة غير الاقليدية ، لو عرفوا تماماً أن هذه الانحرافات (التعديلات) يمكن توقعها فقط بالنسبة للأبعاد الكبيرة جداً .

لذلك تعهد العالم الرياضي الكبير « جاوس » Gauss بقياس مثلث بحجم كبير . أما نقاط الزواية فى مثله فقد شكلها أو صورها بثلاثة مرتفعات : بروكن فى هرتز وانسلزبرج فى غابة ثورنجيان وهوهنجاجن بالقرب من جوتنجن . وكانت قمم هذه المرتفعات تقريباً عند حد الرؤية بالنسبة لكل منها ، إذا استخدم لذلك تلسكوب . وقام جاوس بقياس الزوايا الثلاث التى بداخل هذا المثلث وبحث ما إذا كان مقدارها يختلف عن ١٨٠° (درجة) ، ومع ذلك لم يلحظ أى انحراف . وعلى الرغم من ذلك فان بعض علماء الرياضة وعلماء الطبيعة اعتقدوا منذ ذلك الوقت أن يوماً ما سوف يشهد اكتشاف انحراف فى ذلك حتى فى المثلثات الكبيرة وذلك عن طريق أدوات أكثر دقة .

ان العلاقات التى تحكم المكان فى هذه الحالة يمكن توضيحها إذا كان منطلقنا هو العلاقات المتطابقة (المتماثلة) فى الأسطح ذات البعدين . ووجد أن القوانين المشابهة لتلك القوانين التى تنسب للهندسة غير الاقليدية والمكان ذا الأبعاد الثلاثة تنطبق فعلاً على مثل هذه التراكيب ذات البعدين بوصفها أسطح منحنية . وفى الوقت نفسه دعنا نرسم انحرافات أكبر من تلك المفترض وجودها فى تجربه « جاوس » ، ومن ثم فسوف يكون من الأسهل أن ننظر ثم نبحث فى العلاقات . دعنا نتخيل الكائنات تحيا أو تعيش على سطح كرة أرضية ولا يوجد شيء خارج سطح هذه الكرة . وفى عالمهم لا يوجد نفق يخترق الكرة ، ولا تضمن الكرة أشياء تمتد من خلالها كأشجار او أبراج مثلاً . كل شيء مسطح ومجسم تماماً على سطح الكرة التى تحتوى على

الكائنات ذاتها . والسؤال الذى يثار الآن هو : هل هذه الكائنات تكون قادرة على ملاحظة أنها تعيش على سطح منحنى ؟ والاجابة عن هذا السؤال ليست بأى حال بديهية . اننا نلاحظ انحناء سطح الأرض أساساً لأننا نلاحظ ظواهر خارج السطح ذى البعدين . وعندما نلاحظ انحناء تجويف فى الأرض فاننا ننظر من خلاله ، مثلاً نقارن صورته بمسار الأشعة الضوئية ، ونرى انحناء التجويف لمجرد أن الضوء ليس قاصراً على السطح المنحنى لكنه يخترق المكان ذا الأبعاد الثلاثة ، ولكن فى عالم البعدين ، فان الأشعة الضوئية تنساب عبر السطح ، لذلك فان تلاحظ الرؤية أى انحناءة . ولكن لابد من طرق للتعرف على الانحناء .

لنفرض أن هذه الكائنات الحية تتعهد بالقيام بعملية مسح شامل ، فسوف ترسم الأشكال على الرمال وتستخدم الياردة فى القياس . ويرسمون الدائرة حول القطب الشمالى للكرة ، على سبيل المثال دائرة تطابق ٩٠° لخط الأرض الشمالى ، ثم يقيسون محيط الدائرة باستخدام الياردة . وأخيراً يقيسون قطرى الدائرة ولكن كيف يفعلون ذلك ؟ بالتأكيد أن ما يقيسون ليس القطر الحقيقى الذى يمر داخل الكرة عبر الوتر ، لأنهم لا يستطيعون مغادرة سطح الكرة ، ولا يوجد أى شىء لهم خارج سطح الكرة . وتبعاً لذلك فسوف يتخذون للقطر الخط المنحنى الذى يمتد من نقطة للدائرة عند القطب الشمالى إلى النقطة المضادة ، وهذا الخط سوف يبدو مستقيماً بالنسبة لهم لأن باتباعه بالعين سوف يرون النقطة المضادة طالما أن الضوء يتحرك عبر كنتور الكرة . ولكنهم إذا قاسوا طول هذا الخط باستخدام الياردة وقسموا بعد ذلك محيط الدائرة بالشكل الذى حصلوا عليه للقطر ، فسوف يحصلون على عدد أصغر من M = ٣,١٤ بينما يكون مقاس القطر كبيراً جداً . وعن طريق نتائج هذه القياسات فانهم سوف يعرفون أنهم يعيشون فوق سطح الكرة الأرضية . والآن دعنا نصف حالة الأبعاد الثلاثة . نفترض أنه يوجد اسطوانة كبيرة من لوح أو صفائح حديدية ، فى حوالى حجم منزل ، ويوجد سقالة معدنية فى الداخل ، وهناك رجل يتسلقها ، وهو يستطيع أيضاً أن يتسلق السطح الخارجى ، حيث

يوجد نتوءات يتشبث بها ، وهو يقيس محيط الاسطوانة بالياردة ويفعل نفس الشيء بقياس القطر . وفى النهاية فانه يقسم الأشكال ويحصل على عدد أصغر من ٣,١٤ = N وقد أصبحت النتيجة مفهومة بسهولة فى حالة البعدين ، والسطح قد تم تخيله على أساس أنه منحنى أو مائل فى الاتجاه الثالث ، مثلما يجب أن يكون سطح الاسطوانة . ولكن فى حالة البعد الثالث ، فان هذه الأجابة لم تعد ممكنة ــ لأنه لا توجد حجرة لانحناء الفراغ ذى الثلاثة أبعاد . عندئذ كيف سوف نفسر النتيجة ؟ ولا يبقى شيء لنا نفعله لكى نعرف أننا نعيش فى مكان لا اقليدى .

إن هذه التجارب فى القياس هى ما سوف يتم ملاحظته فى مثل هذا الفضاء أو المكان لمكان منحنى . وعلاوة على ذلك يجب علينا أن نعى بعقولنا أن المخلوقات أو الأشكال الموصوفة بأنها ذات بعدين ليس لديها طريقة أخرى لاستعادة صورة انحناء الفضاء أو المكان ذى البعد الثالث ، انهم لا يستطيعون التحدث عن ميلهم فى الاتجاه الثالث . إن الخروج أو الانحراف عن ظروف القياس الطبيعية هو بالضبط ما يجب عليه . أن يكون خبيراً به داخل المكان اللااقليدى . أننا لا نستطيع أن نذهب هنا أكثر من ذلك داخل مشكلة تصور أو تخيل المكان اللااقليدى . ومن أجل محاولات أكثر تفصيلاً لهذه الأسئلة ، فاننا يجب أن نشير للقارىء إلى فلسفة الزمان والمكان الخاصة بالمؤلف ، والتى هى بوجه عام يجب أن يتم استشارتها من أجل تفسيرات جوهرية أكثر للأفكار التى يحتوى عليها الكتاب . فاننا هناك نناقش ، على وجه الخصوص ، سؤالاً أو موضوع النسبية الخاصة بعلم الهندسة ، وهذا يظهر أن كل القياسات الهندسية تدل على تشابه غير مؤكد بالنسبة للقياسات الخاصة بالنسبية فى الحركة ، والقياسات الخاصة بالموضوعية الهندسية للمكان تفترض مسبقاً نوعاً خاصاً من التحديدات والتى نسميها تحديدات منظمة أو منسقة ؟ ان هذا السؤال يتصل أو يرتبط مع سؤال إذا ماكان يوجد تفسير اقليدى للقياسات كما تم تفسيرها .

وهنا يجب أن نواجه السؤال كيف استخدم « اينشتين » الهندسة غير الاقليدية وأدخلها فى نظريته للجاذبية ؟

لقد أشرنا فى الفصل الثالث أن الساعات والباردات ليس لها معنى مستقل وذلك طبقاً لتصور اينشتين ، ولكنها تغيرت بطريقة خاصة وتعدلت إلى هندسة الضوء ، ولكن حتى الضوء ليس هو الشيء النهائى ، لأنها أيضاً قد أصبحت موضوعاً فى القوة الموجهة للجاذبية . ربما كان من الأفضل هنا أن نتذكر المناقشة التى احتوى عليها الفصل الخامس ، طبقاً لما يشكله الضوء بالنسبة لمجال الجاذبية . إن الجاذبية هى التأثير أو المؤثرات الأولى بالنسبة للكتل التى تملأ المكان ، انها القوة الموجهة التى يتطابق ويتماثل معها الضوء والياردة والساعات . ان العلاقات البسيطة للقياسات المكانية ، كما تشكلت فى الهندسة الاقليدية ، كانت جامدة فقط فى غياب مجال الجاذبية والذى هو على بعد كبير من كتل النجوم . وبجوار مثل هذه الكتل العظيمة ، من الناحية الأخرى ، فان المكان مغلف ، ولذلك لكى نتحدث ، عن ذلك يتطلب أشكال منحنية ويتبع قوانين غريبة ، كما هى معطاة فى الهندسة الغير اقليدية . إن الميل أو الانحرافات عن العلاقات الاقليدية هو دائماً بالتأكيد صغير وقليل جداً ، وهو فى الواقع صغير جداً للدرجة أنه لا يمكن التعرف عليه بوسائل القياس العادية . وهذا هو السبب فى أنه مر وقت طويل دون أن يلاحظ أن مثل هذه القياسات كقياسات جاوس لم تستطع أن تقود إلى نجاح ، لأنها تعنى بمسافات صغيرة جداً . إن الانحرافات توضح نفسها فقط فى المسافات الكونية ، وهذا هو مجال الأجسام الكونية والاشعات الضوئية هى التى تكشف الطبيعة الغير اقليدية للمكان . وهناك ، فى التمددات الواسعة للكون ، نحن نجد حقاً تغييرات تامة للهندسة .

إن أكثر الأشياء تعقيداً فى ذلك هو أن المكان فى الكون يجب الآن أن يعتبر كشيء محدود أو محدد . وهذا لا يعنى أن الكتل للنجوم وحدها تكون محدودة ، وهذا يعنى أن المكان نفسه يكون محصوراً ومحدداً . نحن نستطيع أن

نتصور هذا بالطريقة التالية . لو أن شعاع من الضوء قد أرسل فى خط مستقيم ، فانه يعود أو يرتد بعد وقت معين من الجانب المضاد ، وليس ذلك مشابهاً لسفينة تبحر فى اتجاه الغرب ولكنها تعود إلى الميناء الذى أبحرت منه ولكن من الجانب الآخر . إنه لا يوجد امتداد غير محدود فى هذا المكان ، إن كل الخطوط المستقيمة تعود فى النهاية إلى منابعها أو أصولها . ان كل نجم يمكن رؤيته مرتين ، عندئذ ، مرة من الأمام والمرة الثانية من الخلف ، عندما تنظر إليه من خلال الكون ، ولسوء الحظ لا يوجد برهان لهذه النظرية الخاصة « باينشتين » يمكن اعطاؤه الآن . لأن الطريق حول العالم طويل جداً لدرجة أن ضوءالنجوم يزداد بضعف شديد لدرجة لا يمكن ملاحظته . ولكن حتى لو أننا تمكنا من رؤية الضوء ، فانه لا يوجد طريقة للتعرف على النجمة الخاصة به . وفى الآلاف اللامعدودة من السنين التى يتطلب الضوء لكى يدور حول العالم ، فان النجم يكون قد تجول بعيداً ووصل إلى مكان مختلف كلية عن مكانه ، وكنتيجة لذلك ، فإنه لن يمكننا التعرف على نجمين متماثلين .

ان تصور « اينشتين » للجاذبية « كقوة مترية » تؤدى إلى ثورة الوصول بعيداً فى معرفتنا بالمكان . فيما عدا حداثة نظرية المكان السماوى المحدود ، التى تميز نقطة تشابه لما هو موجود فى المذهب الخاص بالشكل الأسطوانى للأرض ، وذلك فى وقت اصدارة ، فان طريقة معالجة المشكلة الخاصة بالزمان أو المكان ، المستخدمة فى نظرية « اينشتين » ، تمثل شكلاً جديداً فى الفكر الفلسفى . انها تتبع مبدأ أن الأقوال أو الآراء حول المكان لا تكون مستقلة عن الآراء حول الأجسام فى المكان ، إن المكان ليس له معنى مطلق فيما عدا الأشياء والقوانين الخاصة بعلاقاتها المتبادلة ، وهو مبدأ معروف من قبل اينشتين ، عرفه فقط ليبنتز . بتحديد مفهوم المكان هذا وقصره على مظاهره الجسمية يمثل مفتاح فهم معنى الهندسة ، وهى المشكلة التى لم تعد تحل بمذهب « كانط » فى الحقيقة الأولية للهندسة الاقليدية ، بعد اكتشاف الهندسة غير الاقليدية ، والأفضلية الواضحة للهندسة غير الاقليدية والتى يعبر عنها بحقيقة أنها تحكم كل تصوراتنا المكانية يمكن أن تفهم إذا أدركنا أن مفهوم المكان

عندنا قد نشأ تاريخياً من الاتصال بالأشياء التى تتبع قوانين المكان الاقليدى . والأجسام الصلبة والعصى التى تعمل بها تتصل عن قرب بقواعد هندسة اقليدس التى تعتبرها ضرورية ضرورة مطلقة . والانحرافات التى اشار إليها « اينشتين » تحدث فقط فى الأبعاد الفلكية ومع ذلك فإذا كنا نعيش فى عالم تعمل فيه القوانين التى وصفناها لتونا فى أبعاد بيئتنا اليومية — (حيث العلاقات التى تقاس بين محيط الدائرة وقطرها سوف تختلف) — عندئذ يجب أن نتعود أيضاً على هذه الحقائق . ويجب أن نجد كل شيء بديهى وطبيعى . وإذا جاء العالم الطبيعى وأكد عكس ذلك ، أى أكد أن هندسة اقليدس لابد أن تحدد كل تصوراتنا المكانية ، فعلينا أن نرد عليه بأنه يؤكد أمراً مستحيلاً ، وإن أكد خصومة سيكونون هم الأشخاص الذين يدافعون اليوم عن صفة الأولية لهندسة اقليديس . والانجاز العظيم الذى أحرزه « اينشتين » يكمن فى أن تفكيره متحرر من الأفكار التقليدية ، أى أنه لم يتردد فى التخلى عن القوانين القديمة وأقدم قوانين العلم الطبيعى .·. قوانين الهندسة ووضع قوانين جديدة بدلاً منها . رغم أن هذه القوانين الهندسية الجديدة تعرف عليها علماء رياضة قبلة إلا أن اينشتين كان أول من أخذها من رفوف الامكانات (الممكنات) الفكرية وطبقها على العلم الطبيعى وعلى وصف الطبيعة .

ومثل هذا العمل العلمى يكشف عن الشجاعة ويظهر استقلال التفكير والفكرة ، ولا ينبغى أن نندهش من أنه كان من الصعب علينا جميعاً وسوف يكون من الصعب على انسان يسمع هذه الأفكار للمرة الأولى ، أن نفهم أو يفهم « اينشتين » .

ومرة ثانية ينتهى فصلنا هذا مع تحول الحديث إلى « كوبرنيكوس » . وأول مرة حدث فيها ذلك كان الحديث عن نسبية الحركة ، وبهذا المبدأ فان الخطوة من نظرية العالم عند بطليموس إلى نظرية كوبرنيكوس عنه سوف تتكرر على مستوى أعلى ، مؤدية بذلك إلى تأليف النظريتين معاً داخل نظرية واحدة . وبالمثل فإن انهيار الفلسفة الاقليدية يهز نفس الأسس الخاصة بمعرفتنا ويدل على

انتقال إلى معرفة من نوع أسمى أو أعلى ، ولكنها قد تبدو للوهلة الأولى غير شاملة مثل هذه المعرفة . ولكن كما أن نظرية « كوبرنيكوس » فى العالم قد أصبحت فى النهاية معروفة بصفة عامة وأصبحت خاصية مشتركة بين المتعلمين ، كذلك الحال مع نظرية النسبية . وبعد مائة عام من الآن سوف يقبل المذهب على أنه بديهى وسيكون من الصعب أن نفهم السبب فى أنه وجد فى البدء هذه المعارضة الشديدة . وهذه كلمات شوبنهور « يسمح للحقيقة بقدر صغير فقط من الانتصار بين فترتين طويلتين حيث تدان بأنها متناقضة أو توصم بأنها تافهة » . ونحن الذين شهدنا هذه الفترة من الانتصار بأعيننا قد نعتبر أنفسنا محظوظين إذ نشهد اكتشاف كوبرنيكوس فى عصرنا .